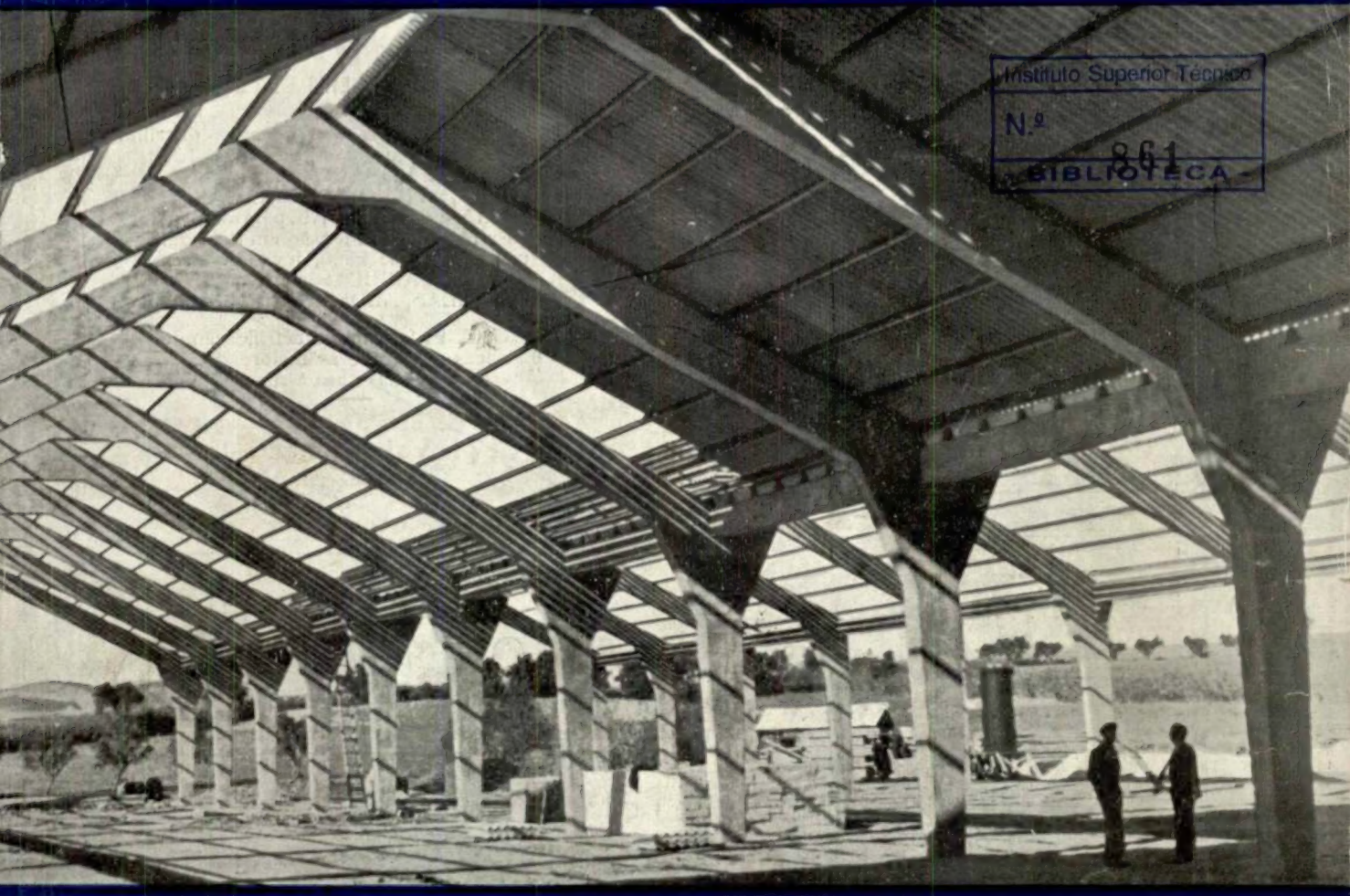
TÉCNICA



Instituto Superior Técnico
N.º 861
BIBLIOTECA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 194-Julho-1949

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

União Eléctrica Portuguesa

S. A. R. L.

SEDE
Rua Duque de Loulé, 240 — Pôrto
Telef. 2828 — 2829 — 2830 — Est. 90

DELEGAÇÃO
R. António Maria Cardoso, 13, 2.º-Lisboa
Telefones 27232 — 27233 — Est. 365

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

A **União Eléctrica Portuguesa** distribui e vende electricidade nos **distritos** de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU LEIRIA e de SETÚBAL, pela mais extensa rêde de alta-tensão em Portugal (mais de 1.200 kms), levando fôrça motriz às FÁBRICAS e luz a CIDADES, VILAS, ALDEIAS e LUGARES

A **U. E. P.** facilita a electrificação de Fábricas e oferece as maiores vantagens nas suas tarifas

Consultar a **U. E. P.** e consumir a sua energia é **proveitoso negócio**

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de todas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia "CIMENTO TEJO"

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

NÚMERO
194
Julho — 1949

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 70144 (linha 50)

BIBLIOTECA I.S.T.

DIRECTOR
HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES

ADMINISTRADOR
JOSÉ MARIA AVILLEZ

BIBLIOTECÁRIO
HORÁCIO DE CAMPOS NETO

SECRETÁRIO
LUÍZ DA CUNHA FERRAZ

CORPO REDACTORIAL
JOÃO A. A. JUSTO
JOSÉ PIRES CASTANHO
DUARTE N. MENDES DA COSTA

NÚMERO AVULSO 9$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	25$00	45$00	85$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	50$00	90$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.da
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

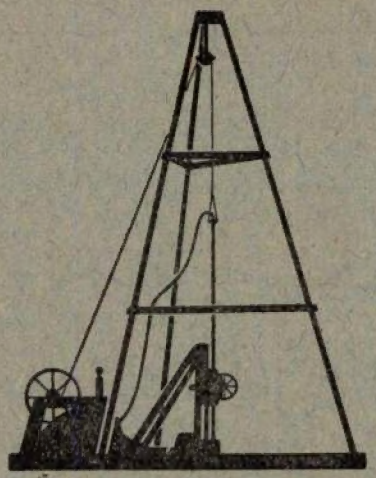
SUMÁRIO

CAPA — Estrutura em pórticos de betão armado, do edifício fabril da Cerâmica de Carnide, Ltd.ª

		Págs.
Missão do Laboratório de Ensaios na técnica colonial . . .	Eng.º Manuel Pimentel Pereira dos Santos	535
Barragens de enrocamento — Distribuição hipotética dos assentamentos	Eng.º Manuel Bravo	547
Nota sobre a dosagem conductimétrica do cálcio nas águas	Dr. Artur de Sousa	555
Refrigeração de uma residência por meio do calor solar . .	Alfredo Nobre da Costa . . .	559
Régua de cálculo	Eng.º L. M. H. de Lancastre	574
Secagem	Eng.º Luís A. de Almeida Alves	584
Biblioteca	. . . . .	599

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

SONDAGENS RODIO, Limitada



RODIO

Sondagens geológicas, estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geotécnico

Pesquisas de água.

Consolidação e impermeabilização de terrenos e de obras por meio de injecções de cimento, produtos químicos, argila activada, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

Estacas de betão armado, sistema **Ródio** moldadas no solo sem trepidações.

Rebocos comprimidos por «**cement gun**»

Fundações em terrenos difíceis quer por congelação artificial, quer por abaixamento do lençol de água.

As melhores referências no país e no estrangeiro

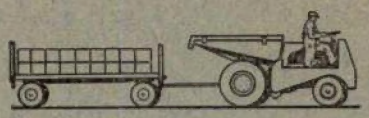
Sócio gerente residente em Portugal:
Walter Weyermann, Eng. civil

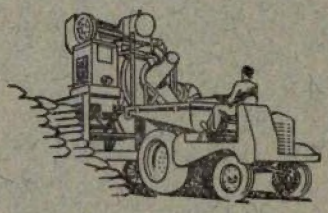
R. S. Mamede ao Caldas, 22, 3.º — LISBOA

Tel. 2 8685

MUIR-HILL DUMPER

TRANSPORTADORES BASCULANTES COM COMANDO ROTATIVO





O método mais económico de transportar materiais a granel, como podem comprovar as unidades já ao serviço em Portugal

///

OS REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

HENRY M. F. HATHERLY, L.DA

RUA DO COMÉRCIO, 8

Telefones 2 2001 e 2 6633 — LISBOA

vos fornecerão todos os detalhes e as suas propostas para entregas rápidas

TÉCNICA

HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES
DIRECTOR

ANO XXV - N.º 194 JULHO 1949

MISSÃO DO LABORATÓRIO DE ENSAIOS NA TÉCNICA COLONIAL

PELO ENGENHEIRO CIVIL (U. P.) MANUEL PIMENTEL PEREIRA DOS SANTOS

Do Quadro Comum de Obras Públicas do Império Colonial Português
Antigo Assistente da Faculdade de Ciências do Porto
Director do Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo de Moçambique

C. D. 624.131:62:325

Tese apresentada ao 2.º Congresso Nacional de Engenharia

1) *Definição do papel do Laboratório*

Por iniciativa da Direcção dos Serviços de Obras Públicas foi a Colónia de Moçambique dotada com um Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo.

Encarregados do projecto, da construção, do equipamento e agora da direcção do referido Laboratório, natural é que possamos dizer alguma coisa sobre a missão que lhe está destinada, com a convicção profunda de que parte das directrizes que vamos apontar se poderão aplicar também a outras parcelas do nosso Império Colonial.

O simples facto da criação deste Laboratório indica só por si a vontade de honrar a Engenharia portuguesa em terras africanas, contrapondo à rotina cómoda do hábito a renovação de métodos de projecto e execução assentes em bases científicas e modernas.

Mas torna-se necessário materializar esse desejo.

Para isso há que distinguir no funcionamento do Laboratório a execução dos ensaios normais, a investigação e a orientação técnica de projectos e construções.

Vale a pena discutir, embora superficialmente, cada um destes pontos.

A execução dos ensaios normais, de campo ou de gabinete, constitui por assim dizer o fim imediato do funcionamento do Laboratório. Obtêm-se desta forma aqueles elementos fundamentais que até hoje têm faltado aos técnicos exercendo a sua actividade na Colónia, com graves prejuízos que, sob o aspecto económico, se hão de ter cifrado em muitos milhares de contos, e sob o aspecto moral, se traduzem por uma quebra do seu prestígio profissional. Adiante se referirá com mais pormenor esta questão importantíssima, bem como se indicarão os ensaios que o Laboratório poderá realizar.

Mas a importância dos trabalhos de investigação não é de modo algum inferior à

da execução dos ensaios normais. Quanto a nós, *um laboratório que não exerça funções de investigação é um corpo sem alma.* Na realidade, é aí que se desenvolvem e apuram as qualidades dos experimentadores, e, mais ainda, é por esse meio que se faz a sua selecção. Nem todos servem para o serviço dum laboratório; é necessário escolher vocações. E estas revelam-se no conjunto de qualidades bem características que devem caracterizar um investigador científico ou técnico: profundo conhecimento teórico dos fenómenos, amor bem firme pela verdade, fortaleza de ânimo ante os insucessos, as contrariedades, o tempo perdido, infinita paciência para a repetição tantas vezes quantas as necessária das mesmas operações, adaptação pessoal ao manejo dos aparelhos delicados, dedicação total ao estudo, escrupulosa probidade na interpretação dos resultados. Compreende-se portanto que nem todos estarão abrangidos por estas condições.

Na investigação há a distinguir aquela que conduz a resultados de aplicação imediata e a investigação pura ou desinteressada, que não visa um fim utilitário mas sim aumentar o património de conhecimentos da Humanidade em determinados campos. Não há dificuldades em fazer aceitar o primeiro tipo: compreende-se por exemplo a necessidade de conhecer os materiais da Colónia, procurar materiais característicos de determinadas regiões, analisar a possibilidade de aplicação de certos produtos locais, como as resinas, à estabilização dos solos. Mas já é bem mais difícil fazer aceitar a profunda vantagem da investigação conduzida acêrca de questões que de momento não têm ligação directa com o lado prático das coisas. De momento, convém frizar ... Porque acontece muitas vezes, quase sempre até, que resultados estabelecidos com um fim mèramente teórico são chamados em certo momento a desempenhar um papel fundamental em processos de carácter prático. Poderiam citar-se numerosíssimos exemplos; o mais impressionante deles todos talvez seja o da utilização dos conhecimentos altamente teóricos e abstractos da moderna Física na concepção da forma de libertar a energia atómica.

A terceira das grandes missões do Laboratório, não menos importante que qualquer das outras, consiste na colaboração técnica no projecto e execução dos trabalhos de Engenharia. Esta colaboração pode e deve apresentar diversos aspectos.

Suponhamos, para concretizar, o caso da construção dum grande edifício.

O engenheiro projectista, para fazer o seu trabalho com consciência, precisa de conhecer as características dos materiais e empregar, sobretudo aqueles que vão constituir os elementos resistentes da Obra. Recorrendo ao Laboratório, ele poderá fixar cuidadosa e econòmicamente as tensões admissíveis no betão simples ou armado, no ferro, na madeira, etc. Poderá fixar-se em determinada granulometria, impor o uso de certas areias, godos ou britas, aproveitar ao máximo todos os elementos que o laboratório estará em condições de lhe fornecer.

Por outro lado, no estudo das fundações, tão importante em quase toda a Colónia, incluindo Lourenço Marques e a Beira, poderá dispor dum minucioso conhecimento de terreno e das suas propriedades, que o habilitem a decidir do tipo mais conveniente de fundação, a prever os possíveis assentamentos num largo período de tempo, a reduzir esses assentamentos aos valores compatíveis com a estabilidade da obra, a verificar e evitar a existência de zonas sobre-esforçadas sob a estrutura. Poderá em certos casos ser o próprio Laboratório a indicar e até a projectar o tipo mais aconselhável de fundação, pois todo este assunto requere hoje uma profunda especialização que nem sempre é fácil encontrar disponível.

A assistência do Laboratório é também indispensável durante a construção. Nele se farão os ensaios e análises dos materiais empregados, verificando-se se correspondem às especificações do projecto: se o betão atinge a resistência prevista, se a granulometria dos materiais inertes satisfaz, se o ferro a empregar obedece às prescrições regulamentares, se as tintas e vernizes são de boa qualidade, se foi atingido o grau de impermeabilização necessária nos terraços, se as madeiras podem ou não ser utilizadas com confiança. Ao

mesmo tempo, o controle rigoroso dos assentamentos vai permitir a verificação de que as fundações se comportam ou não como foi previsto.

Poderiam multiplicar-se os exemplos sobre este assunto, sendo dos mais frisantes o referente à intervenção do Laboratório na construção de estradas e aeródromos, a que adiante nos referiremos.

É óbvio que esta íntima colaboração não se conseguirá sem um esforço de educação dos técnicos, para desenraizar muitos preconceitos que fizeram escola, e que hoje assentam todos numa única base; o comodismo rotineiro.

Para os técnicos do Estado — e sobretudo, para aqueles ligados ao projecto e execução do Plano de Estradas da Colónia — há toda a vantagem na organização de cursos e estágios junto do Laboratório, para a compreensão dos princípios e métodos fundamentais da Mecânica do Solo na sua aplicação a este importante sector. Deve ficar também clararamente expresso na orientação a seguir que o Laboratório não limita os seus serviços aos Organismos do Estado, mas deverá estar apto, a exemplo do que acontece na Metrópole, a prestar toda a colaboração que caiba no seu âmbito aos organismos e entidades particulares.

2) *Secção de ensaios de materiais*

Dentro dos Laboratórios funcionarão duas secções de importância equivalente: a Secção de Ensaios de Materiais e a de Mecânica do Solo.

Começaremos por estudar a primeira.

Os principais ensaios a efectuar serão os seguintes:

a) *Sobre metais*

Compressão, tracção, corte, flexão, choque dureza, fadiga sob cargas repetidas, torsão, efeito das altas e baixas temperaturas, densidade, determinações de módulos de elasticidade, limite de elasticidade e alongamentos unitários, etc.

b) *Sobre cimentos, cais e argamassas*

Todos os ensaios normais

c) *Sobre betões*

Compressão, tracção, flexão, torsão, choque, corte, densidade, fadiga sobre cargas repetidas, compacidade, retracção e expansão, permeabilidade; nos materiais inertes executar-se-ão os ensaios habituais.

d) *Sobre outras pedras*

Compressão, desgaste, permeabilidade, compacidade e porosidade.

e) *Sobre madeiras*

Compressão, tracção, choque, corte, flexão, torsão, densidade, percentagem da humidade e dureza.

f) *Sobre tintas e vernizes*

Adesão, corrosão e determinação de componentes químicos.

Nesta secção far-se-ão também ensaios de estruturas por meio de foto-elasticimetria.

Os ensaios de materiais betuminosos, que lògicamente deveriam depender desta Secção, serão contudo adstritos à secção de Mecânica do Solo, em virtude da sua importância na construção de estradas, e a sua íntima ligação com os estudos respectivos.

Os ensaios enumerados, e outros que lhes são aparentados, são todos duma grande importância para o desenvolvimento da técnica na Colónia. Melhor diríamos, até, que são indispensáveis para a sua dignidade e prestígio. Vejamos porquê:

Os cadernos de encargos das obras a executar são quase sempre cuidadosamente elaborados, e deles constam os diferentes requisitos a que devem obedecer os materiais a empregar. Mas as cláusulas respectivas são mèramente teóricas, pois não existem os meios de as controlar. Daí por um lado, a situação falsa para os Serviços do Estado criada pelo facto de exigirem qualidades que depois não verificam; e por outro lado, o natural instinto de defesa do projectista, que se vê forçado a aumentar os factores de segurança nos seus cálculos, para não correr o risco dum desaire motivado pela não obediência dos materiais àquilo que estava previsto.

Não há muito que nas obras da construção do novo Liceu Salazar, em Lourenço Marques, o betão empregado em certas fundações não tinha feito prêsa passadas 48 horas. Este caso repetiu-se em outras obras de particulares. Má qualidade de cimento? Acções químicas desenvolvidas? Outro qualquer motivo? Não se sabe, pois não existia a simples aparelhagem necessária para a execução dos ensaios necessários.

Por outro lado, estamos em condições de afirmar que a quase totalidade da areia empregada na confecção do betão utilizado em Lourenço Marques é absolutamente contra-indicada para esse fim. A sua granulometria é a menos apropriada; nem sequer obedece às prescrições regulamentares. O excesso de finos é grande, com o consequente aumento da percentagem de água e diminuição da resistência. Quase sempre, é elevada a percentagem de matéria orgânica.

O que se passa em Lourenço Marques tem a sua réplica sensìvelmente por toda a Colónia.

As britas utilizadas nos betões também não são por vezes muito melhores do que as areias. Isto pelo que diz respeito à sua granulometria e mesmo à sua resistência. Compreende-se portanto sem esforço a gravidade do problema apontado.

Um outro ponto em que a economia da Colónia é gravemente afectada reside no desconhecimento quase total sob o ponto de vista técnico das qualidades das suas madeiras. É importante a verba drenada anualmente para o estrangeiro pela importação de madeiras de fácil trabalho, nomeadamente oregon-pine e casquinha. Ora é grande a riqueza florestal de Moçambique, apesar dos desbastes criminosos feitos em algumas concessões com mira nos lucros de guerra, e ainda apesar da destruição causada pelo uso indígena das queimadas. Certas variedades ricas, sobretudo as designadas por ambila e chanfuta, encontram já larguíssima aceitação no fabrico de mobilário e em caixilharias. Mas, duma maneira geral, nenhum esforço foi feito para avaliar o valor construtivo das madeiras da Colónia, que podem e devem constituir uma notabilíssima fonte de riqueza, quer pelo seu emprego intenso, quer com vista à exportação. A meu ver, esta deve ser uma das primeiras missões do Laboratório: o estudo científico das madeiras da Colónia com vista à sua racional utilização.

Poderiam multiplicar-se os exemplos mostrando como a acção do Laboratório no campo dos materiais de construção pode ser útil e proveitosa. Lembremos as cais, cujo fabrico local deixa tanto a desejar que para obra mais fina é necessário recorrer à cal de Lisboa, de elevado preço; citemos o tijolo, de que por vezes é preciso rejeitar fornecimentos inteiros; falemos de blocos de cimento, para construção, tão porosos que parecem pedra pomes, e tão frágeis que se esfarelam à simples pressão do dedo... E fiquemos por aqui, de momento.

3) *Secção de mecânica do solo*

Se a maioria dos engenheiros se encontram familiarizados com os principais ensaios respeitantes aos materiais de construção, o mesmo não sucede com os referentes à

Mecânica do Solo. Não é para aqui discutir as causas de tal facto, mas simplesmente apontá-lo sem o comentar.

O equipamento do Laboratório permite-lhe realizar os ensaios que em seguida se vão descriminar.

a) *Colheita de amostras no campo, sondagens, levantamentos das zonas de interesse.* As amostras poderão ser obtidas alteradas ou não, conforme o fim a que se destinam.

b) *Preparação das amostras.* Nos ensaios em que as amostras não necessitam de ser inalteradas, faz-se a sua preparação prévia, de forma a obter uma média das propriedades em estudo.

c) *Ensaios de Compacidade*: Abrangem a determinação da densidade real, densidade aparente, grau de humidade e índice de vazios.

A densidade real determinar-se-á pelo método do picnómetro podendo utilizar-se um método rigoroso ou um método expedito.

O grau de humidade poderá calcular-se por exsicação ou pelo picnómetro (conhecida a densidade real).

O índice de vazios poderá obter-se directamente, ou conhecendo os valores das densidades real e aparente.

A densidade aparente será calculada pelo método da garrafa de areia, pelo volumnómetro ou pelo cortador cilíndrico, conforme a natureza do solo.

d) *Ensaios de compactação.* São de importância fundamental para a utilização de solos como material. O Laboratório poderá executá-los pelo método de Proctor, pelo método modificado da A. A. S. H. O. (compactação pesada) ou pela máquina Dietert.

e) *Ensaios de estrutura.* Far-se-ão com o penetrómetro de Proctor (agulha de plasticidade de Proctor).

f) *Análise mecânica.* Permite a determinacão da granulometria dos solos, efectuando-se para material retido no crivo n.º 200 B. S. por meio de crivagem, e para material passando esse crivo, por meio de sedimentação. Os ensaios de sedimentação, baseados na lei de Stokes, efectuar-se-ão pelo método da pipeta ou pelo método do hidrómetro.

g) *Determinação dos limites de Atterberg.* Abrangem estas características fundamentais dos solos o limite líquido, o limite plástico e o limite de retracção; deles se deduzem o índice de plasticidade e o índice de liquidez.

h) *Equivalente de humidade.* Esta característica fornece informações sobre o grau de permeabilidade dos solos sob pressão e sobre o grau de capilaridade dos solos permeáveis.

i) *Ensaios de absorção de água.* Trata-se dum ensaio, simples e rápido que dá indicações quanto à absorção de água pelos solos naturais ou tratados.

j) *Ensaios de absorção de água por capilaridade.* Executa-se também com simplidade, permitindo ajuizar da capilaridade dos solos.

k) *Determinação da percentagem de matéria orgânica.* Far-se-á por métodos químicos.

l) *Determinação da percentagem de carbonato de cálcio.* Utilizar-se-á um calcímetro Collins.

m) *Ensaio de compressão edométrica.* Trata-se dum dos ensaios essenciais de Mecânica do Solo, permitindo a previsão de assentamentos dos solos carregados e a determinação da permeabilidade.

n) *Ensaios de permeabilidade.* Além do método do edómetro, recorrer-se-á a permeâmetros.

o) *Ensaio de compressão triaxial.* Neste ensaio a amostra é submetida a uma tensão vertical variável, e a uma coacção lateral também variável. Trata-se dum ensaio extremamente delicado e moroso, mas que permite obter notáveis resultados.

p) *Ensaio de compressão não limitada.* Ao contrário do anterior, a amostra de solo não está submetida a coacção lateral. O ensaio é expedito, permitindo a rápida determinação da resistência ao corte, e pode executar-se no campo.

q) *Ensaio de corte por translacção.* A resistência ao corte dos solos é determinada directamente por este método, mais rigoroso que o anterior se se tomarem as precauções necessárias.

r) *Ensaio de cargas sobre placas.* Este ensaio permite a aplicação do método de Housel para determinação da carga que os solos podem suportar, bem como a determinação do módulo de reacção do solo cujo conhecimento é indispensável para aplicação da teoria de Westergaard (fixação da espessura de pavimentos rígidos de estradas e aeródromos)

s) *Ensaio de C. B. R.* Este ensaio (abreviatura de Califórnia Bearing Ratio) é cada vez mais extensivamente utilizado na determinação da espessura de pavimentos flexíveis de estradas e pistas da aviação. Trata-se dum método empírico, mas que tem dado óptimos resultados. É fundamentalmente um ensaio de penetração.

t) *Ensaios de solo-cimento.* A estabilização de solos com cimento exige a execução dum certo número de ensaios, uns de laboratório, outros de campo. Abrangem as medidas da resistência à compressão do solo compacto, da durabilidade e da resistência às variações de temperatura. No campo há que fazer a verificação do grau de humidade, da percentagem de cimento em toda a espessura tratada e executar ensaios de Proctor do material antes e depois da compactação.

Durante a guerra foram largamente executados ensaios de emergência, os chamados «pick test» e «click test». Estes ensaios poderão ter importante emprego na construção de estradas na Colónia.

u) *Ensaios sobre betuminosos.* Como já se disse, estes ensaios foram agrupados na Secção de Mecânica do Solo em virtude da sua importância para a estabilização de solos e construção de estradas e aeródromos. Abrangem as determinações da viscosidade, percentagem de carvão livre em alcatrões, ponto de emolecimento, ponto de inflamação, penetração, densidade e ainda a distilação dos produtos.

Através da sua Secção de Mecânica do Solo, a acção do Laboratório de Ensaios pode projectar-se de forma impressionante sobre os interesses da Colónia.

Está em curso um vasto plano de estudo e construção de estradas que só por si justificaria amplamente a necessidade deste Laboratório. Na verdade, o projecto e a técnica de execução das estradas sofreram nos últimos anos notabilíssimos avanços, que fazem com que muitas concepções clássicas estejam hoje quase totalmente abandonadas. Assim o compreenderam as autoridades responsáveis da África do Sul que estão desenvolvendo obra de larga visão neste sentido, dispondo de toda a assistência técnica e laboratorial que necessitam.

O problema põe-se com particular agudeza no caso de Moçambique. Porque não somos ricos, temos que procurar em cada caso o tipo de pavimento mais económico que seja tècnicamente aconselhável. É preciso, com efeito, ter sempre presente de que pouco

servirá dispor duma rede de estradas que na época das chuvas se tornem intransitáveis, exigindo logo dispendiosas reparações.

O recurso à estabilização de solos pelos vários métodos hoje aplicados muito poderá contribuir para o ataque e resolução deste problema. Exige-se, é claro, profundo estudo, experimentação e investigação, para saber se em determinada zona se manterá a estrada da terra, ou estabilizada com cimento, betuminosos, cais ou resinas, ou ainda se se impõe qualquer outro tipo de pavimento.

Particular interesse deve merecer a investigação das possibilidades de emprego das resinas da Colónia, de que existe larga variedade, para fins de estabilização. Certos produtos patenteados estrangeiros, como o «Vinsol» conheceram certa difusão.

Podemos portanto afirmar que se torna necessário proceder a uma revisão completa dos pontos de vista que entre nós ainda prevalecem no que diz respeito às estradas. Isso exige do Laboratório um trabalho extensíssimo, como se compreende, mas exige também uma profunda compreensão e adaptação a novas ideias do pessoal encarregado da construção.

Muitas das estradas da Colónia possuem grandes troços em aterro, sobretudo na travessia de largas planícies inundáveis. Esses aterros são por vezes de grande altura. Torna-se necessário, para assegurar quer a sua estabilidade, quer a diminuição dos seus assentamentos, estudá-los e executá-los convenientemente, para evitar a deterioração ou mesmo destruição do pavimento. Esse estudo começa logo na fundação, geralmente descurada; abrange a fixação da inclinação dos taludes, quase sempre arbitrada, em lugar de estudada cientìficamente, reflete-se sobre problemas de drenagem, fundamentais em determinados tipos de solos, exige a conveniente compactação do solo para reduzir e uniformizar assentamentos.

Depois, em qualquer estrada, seja em escavação ou em aterro, há que escolher o tipo de pavimento a adoptar, bem como a natureza e características da infra-estrutura e as condições de tráfico (estas analisadas por intermédio da carga por roda, pressão dos pneus, intensidade de tráfico e efeitos de vibrações).

A compactação e drenagem da infra-estrutura é quase sempre de regra, pois não pode haver uma boa estrada onde aquela não obedecer aos necessários requisitos.

No pavimento, devem ser convenientemente tratadas a base e sub-base, sendo a missão desta distribuir devidamente as cargas e interceptar os efeitos de capilaridade provenientes da infra-estrutura. Por sua vez a base — componente essencial do pavimento — deve assegurar boas condições de drenagem, ter a espessura e estrutura conveniente à distribuição uniforme das cargas, substituir por vezes solos expansivos ou demasiadamente compressíveis, resistir à acção das baixas temperaturas e permitir o emprego de material de construção mesmo sob más condições de tempo.

Há finalmente a considerar o revestimento superficial do pavimento, que pode ser ou não betuminoso. O seu mais importante papel consiste, no caso de solos coerentes, em impedir a percolação da água de forma a atingir a infra-estrutura.

As condições de drenagem devem ainda abranger as bermas, taludes e faixas laterais das estradas, de forma a impedirem que estas se tornem em poderosíssimos agentes de erosão.

A manutenção em nível conveniente do grau de humidade e das propriedades mecânicas dos solos empregados (nomeadamente da compactação) contra a acção da água, do tráfico e das baixas temperaturas constitui o fim principal da estabilização dos solos, cujo desenvolvimento se acelerou notàvelmente durante a guerra.

Essa estabilização poderá ser:

a) *Mecânica:* não necessitando de agentes estabilizadores, empregando-se solos cuja estabilidade é natural ou é fàcilmente obtida com outros tipos de solos e drenagem;

b) *Com utilização de substâncias especiais:* betuminosos, cimento, cal, resinas, sub-produtos industriais;

c) *Por tratamento a quente do solo:* aplicável a alguns tipos de solos argilosos, mas com prática pouco corrente.

São os dois primeiros tipos de estabilização que particularmente nos interessam, devendo a sua escolha obedecer a rigorosas considerações técnicas e económica em que o Laboratório terá a última palavra.

Os modernos processos de construção e a sua mecanização estão intimamente ligados às considerações feitas, e a esse assunto voltaremos ainda.

Por agora, e para não nos alongarmos, vamos indicar resumidamente mais alguns sectores da engenharia em que as modernas concepções afastaram total ou parcialmente as antigas, e em que os dados de Laboratório são na verdade basilares.

Temos em primeiro lugar a análise da estabilidade de taludes de aterro, trincheiras e barragens de terra, que até há escassas dezenas de anos (e ainda hoje entre nós...) se considerava assegurada desde que o ângulo de talude natural do solo não fosse excedido. Numerosos e trágicos desastres assinalaram este erro até que as novas concepções mostraram a mecânica dos deslizamentos de terras, e a estreita dependência em que se encontram das características dos solos, nomeadamente da sua resistência ao corte. É importante neste campo, como em muitos outros, a distinção entre solos arenosos e argilosos. E há também que considerar que os fenómenos do movimento da água nos solos condicionam decisivamente o problema, de tal forma que ignorar esses fenómenos será correr voluntàriamente a um fracasso inevitável.

São hoje conhecidas as medidas a tomar contra deslizamentos do tipo circular ou outro, sendo sempre necessário o concurso do Laboratório.

Pode inserir-se aqui o fenómeno de erosão do solo, em que o Laboratório deverá agir em estreira ligação com os técnicos agronómicos.

Outro dos problemas clássicos que interessa à Mecânica do Solo e portanto à vida e acção do Laboratório é o do impulso das terras. Muros de suporte e encontros de pontes estão a ele sujeitos, e a sua consideração tem que fazer-se tendo em conta a evolução sofrida nos últimos anos pelas novas concepções, que têm uma das suas mais belas páginas na crítica feita por Terzaghi à teoria de Coulomb.

Mais uma vez se impõe a distinção necessária entre solos coerente e incoerentes, derivando dos primeiros as mais árduas questões que o engenheiro tem de resolver com critério científico se quiser trabalhar conscientemente.

Num país como Moçambique, em que se impõem largas obras de Hidráulica Agrícola e de Electrificação, a construção de barragens de terra assume um singular interesse. São muito grandes as listas de barragens cuja destruição total ou parcial se devem à não observância no projecto ou na construção das normas que a Mecânica do Solo pode fornecer hoje. Há que considerar as fundações, estudar cuidadosamente o grau de compactação necessária e a forma de o realizar, controlar estreitamente os fenómenos de infiltração, empregar métodos convenientes de cálculo. Todos estes capítulos carecem de dados e orientações fornecidas pelo Laboratório. É bem sabido que a construção de barragens de terra de grande ou mediana importância exige a constituição junto do estaleiro dum laboratório de solos com o indispensável equipamento.

Finalmente, haveria que referir o que diz respeito ao projecto e execução de fundações. Como já alguma coisa indicamos sobre este assunto, pouco mais haverá a acrescentar. Basta dizer que nos têm passado pelas mãos projectos de fundações em solos desfavoráveis elaborados em tais condições de desrespeito pelas normas fundamentais clássicas e modernas que, executados, bem poderiam conduzir a irreparáveis situações.

Também podemos afirmar que todos os problemas de consolidação e assentamento de solos, sobre-esforço sob ensoleiramentos gerais, condições de carga de estacas, ensaios de carga, são actualmente entre nós ou completamente ignorados ou tratados de forma errada.

4) *Vida do Laboratório*

Concebemos o Laboratório não como mera Repartição de ensaios, chamemos-lhe assim, mas como um organismo plástico e vivo estendendo o seu raio de acção muito mais longe do que as quatro paredes que o limitam.

Já definimos anteriormente as funções do Laboratório como sendo as de ensaiar, de investigar, de colaborar e de orientar. Para que todas elas se tornem possíveis, compreende-se bem a necessidade de rigorosa escolha do seu pessoal. Além disso, um estreito contacto com Laboratórios similares da Metrópole e do Estrangeiro é de aconselhar e de estimular. Na Metrópole, além dos laboratórios escolares, há a considerar o recem-criado Laboratório de Engenharia Civil. No estrangeiro, podemos já citar como exemplo pelo muito que deles aprendemos o Laboratório de Solos do «National Road Board» da África do Sul e o «Road Research Laboratory» britânico, do qual obtivemos preciosíssimas indicações.

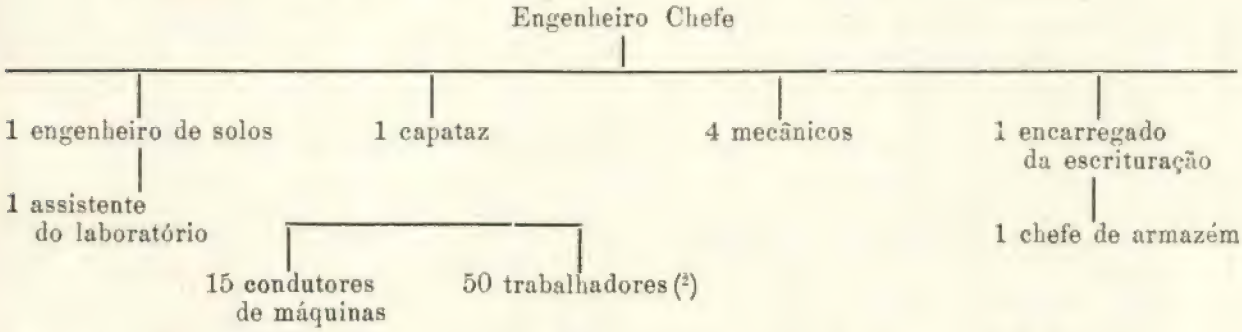
A orientação e colaboração nos diferentes trabalhos exigirá, além do mais, a entrada em serviço de Laboratórios móveis montados em veículos rebocados ou automóveis, de forma a acompanhar estreitamente a construção.

No caso das estradas, usam-se geralmente laboratórios móveis separados para solos e para betuminosos. Julgamos possível a montagem num só veículo dos dois grupos de aparelhos. Um laboratório móvel por Província — ou seja um total de quatro — constituiria uma despesa relativamente pequena e largamente compensada. Cada um deles custaria muito menos do que certas das máquinas recentemente compradas, e o seu rendimento seria notável. Evidentemente que ao Laboratório Central competiria a preparação dos técnicos respectivos.

Também se faz sentir em cada província a necessidade dum Laboratório móvel para ensaios dos betões, que se possa deslocar aos locais dos estaleiros (sobretudo de pontes) de forma a dar-lhes a necessária assistência.

Vamos agora referir a título de exemplo a constituição de uma Brigada de construção de estradas, pavimentadas em solo-cimento, com um rendimento de 4.500 mq. de camada consolidada de 15 cms. de espessura, por dia com 10 horas de trabalho [1].

Um esquema de organização do pessoal pode ser como segue:



(1) Diversos — «Soils, concrets and bituminous materials» — Londres 1946, pág. 99. (Curso professado no «Road Research Laboratory».

(2) Este número diz respeito à mão de obra europeia, devendo ser revisto para o caso de Moçambique, para o emprego de mão de obra indígena.

Interessam-nos sobretudo as funções do Engenheiro de Solos. Este, juntamente com o seu assistente, está instalado no Laboratório móvel, equipado com tudo o necessário para os ensaios de rotina e comprovação.

Incumbe-lhe a responsabilidade do controle da directriz e nivelamentos projectados para o que terá sob as suas ordens o capataz. Deve seleccionar e distribuir uniformemente o material estabilizado — cimento, areia, cascalho, etc. — calculando o espaçamento da sua armazenagem para que a distribuição resulte na proporção prevista. Antes do trabalho da pulverização do solo em cada dia, deve controlar o grau de humidade, a fim de determinar a necessidade ou não de rega prévia. Durante as diferentes fases do processo (pulverização, mistura a seco, mistura húmida) encarrega-se da verificação das profundidades de trabalho. A distribuição de sacos de cimento convenientemente espaçadas é também da sua responsabilidade.

Antes da mistura húmida, é necessário determinar o grau de humidade da mistura seca, e calcular a quantidade de água a juntar. Quando se executa a rega, determinações de controle do grau de humidade são também indispensáveis. Na compactação, regula o trabalho e o tempo de emprego dos cilindros de pé de carneiro, necessidade de novas regas, cilindragem com cilindro de rodas pneumáticas e cilindragem final com cilindro liso.

A seu cargo está ainda a protecção do pavimento durante a prêsa.

O engenheiro-chefe deve atender às indicações do engenheiro de solos sobre assuntos da sua especialidade, em particular sobre variações do processo para adaptação às condições reais do solo, protecção do solo pulverizado durante o mau tempo, remédios para prejuízos causados nas fundações pela chuva, etc.

Note-se ainda que o engenheiro-chefe deve ter conhecimentos profundos da estabilização de solos em todas as suas fases, em ordem à conveninte organização do estaleiro, da distribuição do pessoal e da execução do método empregado.

O epuipamento em máquinas da brigada pode ser como segue:

2 «bulldozers» ou anto-niveladoras com lâminas de 3,60 m.
4 tractores de lagartas de 40 H. P.
3 grades de discos
1 arado pesado
2 grades de molas
1 grade de dentes
1 grade lisa
2 cilindros de pés de carneiro
1 cilindro de rodas pneumáticas
1 cilindro liso de 6-8 ton.
2 tanques de água de 450 litros
6 camiões de 2 toneladas
2 tractores de pneus de 30-40 H. P.

Convém que o acampamento da brigada disponha das seguintes barracas desmontáveis:

2 de 3,60 × 3,00 m para o engenheiro chefe e encarregado da escrituração
1 de 3,60 × 3,00 m para o laboratório de campo
1 de 6,00 × 3,00 m para o armazém
1 de 5,40 × 3,00 m para os menânicos e sua aparelhagem.

Vemos portanto o volume importante de material e pessoal que uma brigada de construção movimenta, e cremos posto em evidência o papel notável que na execução dos trabalhos cabe à aplicação dos princípios da Mecânica do Solo.

Também há que acentuar que os próprios métodos de condução dos trabalhos sofreram modificações por vezes radicais.

Actualmente, os mais geralmente seguidos são os seguintes:

a) Estaleiro fixo (*stationary plant*)

b) Estaleiro móvel (*traveling plant*)

c) Mistura no local (*mix-in-place*)

Não podemos demorar-nos na análise destes métodos, dos quais principalmente os dois últimos se afastam muito das concepções clássicas.

Diremos contudo — mais uma vez — que todos eles são precedidos por uma cuidadosa inspecção do solo e subsequentes ensaios de Laboratório, que determinam o caminho a seguir.

Assim, pode chegar-se à conclusão de que uma estrada em betão de argila é aconselhável. Tal tipo de pavimento consegue-se em solos argilosos, pela adição de material granuloso em quantidade e qualidade satisfatória, ou, em solos arenosos, pela edição de argila. Por vezes, a adição desses solos correctores limita-se a uma camada superficial de argila e areia, obtida nos campos próximos. A experiência americana (sobretudo na Georgia) mostrou que, para um tráfico da ordem de grandeza de 400 a 600 veículos *por dia,* as condições de conservação são aceitáveis, sobretudo quando em presença dum tapete superficial betuminoso (a duração atinge nestas condições 6 a 8 anos). Esta solução poderá ser empregada em muitas regiões da Colónia, tanto mais que a intensidade de tráfico em raras estradas se aproxima do valor dado.

Outras vezes, no caso de solos naturais pouco estáveis, a existência de cascalho obtido em jazigos próximos pode determinar a solução a adoptar, pela sua utilização directa, pela mistura de argila ou pela mistura do próprio solo. Segundo a classificação internacional de solos, o cascalho (gravel) corresponde a um tamanho das partículas superior a 2 mm.

Em terrenos predominantemente arenosos a estabilização poderá ser conseguida com a utilização do método designado por «Wet-sand mix» em que a adição de betuminosos do tipo S. S. O. (*Soil stabilisation oil*) não exige a prévia secagem por aquecimento da areia.

Enfim, muitos dos outros processos de estabilização, a que resumidamente nos referimos antes, poderão ser empregados.

É conveniente acentuar a larga presença na Colónia de terrenos do tipo *laterite,* solo tropical constituído por uma mistura altamente consolidada de areia e argila, com forte percentagem de óxigos de alumínio e zinco, e cor avermelhada característica. Este solo pode dar magníficas bases, por vezes sem qualquer tratamento prévio.

* * *

Dos assuntos que foram aflorados se conclue desde já a larguesa da missão a atribuir ao Laboratório de Ensaios. Para os executar carece de pessoal competente e bem treinado.

Actualmente, os ensaios agrupam-se no Laboratório da seguinte forma:

a) ensaios físicos
b) ensaios químicos
c) granulometria e compressão de terras
d) pesagens e trabalhos de gabinete
e) restantes ensaios de materiais

Para que todo o rendimento possível seja de facto obtido, julgamos que num futuro não muito afastado, deverá o laboratório dispor do seguinte pessoal:

1 engenheiro director
1 engenheiro para a secção de Mecânica do Solo
1 engenheiro para a secção de ensaios de materiais
5 auxiliares de laboratório (um para cada grupo de ensaios apontado) de preferência com o curso de condutores ou pelo menos das escolas industriais
1 desenhador
1 dactilógrafo-arquivista
Serventes indígenas

Actualmente, na fase inicial dos trabalhos, conviria dispor de:

1 engenheiro director
2 auxiliares de laboratório (um em cada secção)
1 dactilógrafo-arquivista
1 desenhador
Serventes indígenas

5) *Conclusões:*

Podemos concluir sem dificuldade do que despretenciosamente ficou dito que a acção do Laboratório trará para a vida da Colónia as seguintes vantagens:

a) *Vantagem económica:* racional e completo aproveitamento das possibilidades dos materiais, adopção de métodos de trabalho de maior rendimento, melhor preparação dos técnicos, utilização de produtos locais cuja aplicação hoje não é feita;

b) *Vantagem técnica:* revisão de conceitos de projecto ou construção muito espalhados mas errados ou antiquados; consequente actualização da técnica colonial; estreito controle da execução das obras e das qualidades dos materiais empregados; possibilidade da adopção dos limites de fadiga extremos que os Regulamentos autorizam;

c) *Vantagem científica:* criação dum centro de investigação de problemas ligados a alguns dos ramos mais importantes da engenharia moderna; intercâmbio de conhecimentos com a Metrópole e o Estrangeiro; substituição de critérios empíricos por critérios científicos em muitos ramos da técnica colonial; possibilidade de aperfeiçoamento ou de ultrapassagem dos conhecimentos actuais;

d) *Vantagem política:* afirmação de que o nosso direito de posse em terras de Moçambique não se alicerça apenas nos pergaminhos da descoberta e da ocupação, mas sim numa valorização progressiva dos recursos e dos homens, dos valores materiais e dos valores espirituais — afirmação em que o papel do Laboratório se destaca vincadamente como poderoso instrumento de trabalho.

Maio de 1948.

BARRAGENS DE ENROCAMENTO

DISTRIBUIÇÃO HIPOTÉTICA DOS ASSENTAMENTOS

(Barragem de Vale de Gaio)

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) MANUEL BRAVO

(Assistente do I. S. T.)

C. D. 627.83

I

Não era nosso propósito apresentar este trabalho nesta ocasião. Aguardávamos uma série de verificações do comportamento da obra para que foi estudado. Todavia, outras circunstâncias vieram dar-lhe oportunidade, provocando assim uma antecipação que não estava prevista.

Cumpre-me deixar aqui consignados os meus melhores agradecimentos aos meus Directores Prof. Eng.º José Belard da Fonseca, da Sociedade de Empreitadas e Trabalhos Hidráulicos Ltd.ª, e Eng.º Knud Højgaard, da sua associada de Copenhague Højgaard & Schultz A. G. pelas possibilidades que me garantira para a execução do presente estudo.

Ao colega Eng.º Licínio Nunes Vaz, um muito obrigado pelos valiosos conselhos, quando Engenheiro Residente da Obra da Barragem de Vale de Gaio, onde eramos adjuntos do Director Técnico.

II

A barragem do Vale de Gaio, correspondia, no plano de trabalhos da Junta Autónoma de Obras de Hidráulica Agrícola, a que preside o ilustre Engenheiro António Trigo de Morais, à obra n.º 6.

Fica situada no curso inferior do Vale do Sado, represando as águas da ribeira do Xarrama. Não tem interesse descrever aqui com grande minúcia as características da obra. Trata-se de uma barragem mista, de terra e enrocamento, tendo a primeira a função de «camada de retenção» e a segunda a de «camada estabilizadora». Uma camada intermédia de alvenaria asfáltica, separa as duas anteriores, assegurando a estanquidade e canalizando para um muro corta águas aquelas que poderão servir de elemento de prova do funcionamento da camada de retenção.

O estudo seguinte, refere-se à parte da «camada estabilizadora» ou de enrocamento e à solução que foi proposta para a sua construção.

Estávamos em Outubro de 1941, com a camada de enrocamento prestes a ser construída quando surgiu o problema seguinte:

O projecto previa para o paramento de jusante uma inclinação fixada em 1,4/1. Uma coisa era certa:

a) *Antes da barragem entrar em carga*

Na construção e devido à ordem de grandeza do maciço de enrocamento com uma altura superior a 50 metros, iam dar-se assentamentos. Qual a sobre-elevação a dar às cércias, durante a construção, para que a barragem pudesse no final apresentar um paramento distorcido?

b) *Depois da barragem entrar em carga*

Cada ponto do paramento, sofreria uma translação para jusante.

III

O problema posto, foi considerado resolvido em princípio da forma seguinte:

1.ª Parte — Dedução da lei de variação dos assentamentos, em função da altura dos enrocamentos.

2.ª Parte — Conhecida a lei de variação, aferi-la, para o que havia a fixar, o parâmetro «assentamento total».

1.ª PARTE

Considerou-se sòmente a variação dos assentamentos durante a construção, partindo-se do princípio que, quando a barragem entrasse em carga a lei de variação seria uma deformada da primeira hipótese. A consideração da 2.ª parte do problema, podia conduzir à solução total.

Em 1941 (Outubro) os elementos de consulta de que dispunhamos para a resolução do problema exposto eram muito escassos. Nos «Proceedings» de fins de 1937, o Eng.º J. D. Galloway dizia: «o assentamento máximo de uma barragem de enrocamento dá-se nos primeiros meses da construção. Deve ser esperado um assentamento com o máximo de 50 °/₀ da altura da obra; o assentamento continua com o aumento da barragem em altura.

Depois da conclusão da obra o assentamento continua durante anos. Este problema foi debatido durante meses na mesma revista, e a opinião do autor parece ter sido aceite, visto que o mesmo publica novo artigo sobre o assunto em Novembro de 1938 confirmando o que dizia anteriormente.

Num trabalho da Sociedade de Engenheiros Consultores de Estocolmo, fixa-se também em 5 °/₀ a percentagem máxima das barragens de enrocamento a granel.

O Eng.º Miguel Jinich nos números de Novembro e Dezembro de 1939 da revista «Irrigación en Méjico» diz:

«O assentamento máximo de um enrocamento produz-se geralmente passados meses após a colocação, podendo esperar-se um assentamento até 5 °/₀ da altura. O assentamento continua à medida que a cortina aumenta de altura».

Nada acrescenta ao dito anteriormente por Galloway.

Nos «Annales» de L'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics n.ºˢ 5 (de Setembro-Outubro 1936) e n.º 1 (Janeiro-Fevereiro 1937) vêm algumas considerações interessantes, sobre as barragens francesas de enrocamento de África do Norte Francesa. Para a barragem do Grhib, por exemplo, com 70 m de altura, com enrocamento arrumado e com uma percentagem de vasios de ordem dos 25 °/₀, verificou-se que uma fiada colocada a 19 m acima da fundação sofreu um assentamento de 57 cm, isto é 3 °/₀ da altura.

Estes eram os dados de que dispunhamos quando o problema foi abordado.

Para estabelecermos a lei de variação dos assentamentos devemos ter em atenção a série de factores que intervém na sua produção:

1.º) Natureza da rocha dos enrocamentos (dureza e fractura)
2.º) Dimensão dos blocos
3.º) Grau de arrumação
4.º) Natureza do terreno de fundação, etc.

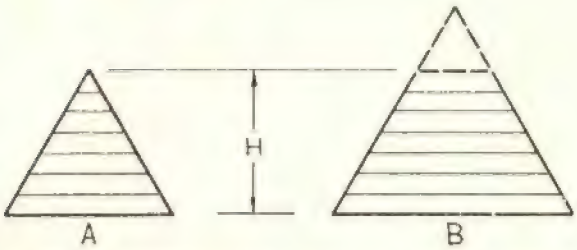
Para o estabelecimento dos gráficos e quadros anexos, partimos de uma série de hipóteses tomadas como plausíveis, e supomos que geralmente aceites:

1.ª Hipótese: Supondo a barragem dividida numa série de camadas, a camada que sofre maior assentamento é inferior.

2.ª Hipótese: A pressão que uma camada exerce sobre as inferiores é tanto maior quanto mais próxima estiver dela.

3.ª Hipótese: Para barragens da mesma altura (H), o assentamento é maior para aquele que tiver de suportar camadas sobre ela (fig. 1).

4.ª Hipótese: O assentamento total de uma camada, supõe-se proporcional às pressões que as camadas superiores exercem sobre ela [1].



(em B o assentamento a considerar é superior a *A*)

Fig. 1

5.ª Hipótese: Em percentagem de altura, o assentamento é tanto maior quanto mais alta for a barragem.

* * *

A partir da 2.ª hipótese podemos estabelecer o quadro do Des. 1 obtido da seguinte forma:

a) Dividimos a barragem em fiadas, e que no nosso caso, por conveniência, são de 2,5 m.

b) Numerámos por ordem crescente, da base para o coroamento, e calculámos as áreas em perfil vertical transversal (coluna A).

c) Na coluna *Bi* escrevemos as bases entre duas camadas consecutivas.

d) Na coluna «soma das bases», adicionamos as bases superior e inferior de cada camada.

Feito isto, temos que, a influência que a camada 20 exerce sobre a camada 19 é proporcional a $\frac{4,38}{3,5} = 125$ (4.ª hipótese) [2].

No entanto sobre a camada 1 ela tem uma influência proporcional a

$$\frac{4,38}{66,5} = 0,07$$

o que está de acordo com a 2.ª hipótese.

Anàlogamente veriamos que a influência da camada *8* sobre a camada *1* é:

$$\frac{109,38}{66,5} = 1,64$$

Vemos então, que as somas das influências que as camadas exercem sobre as inferiores, fazem diferença, de camada para camada, de 1,25 [1].

Podemos, portanto, estabelecer, se queremos só as influências totais proporcionais chamando:

n = número de fiadas em que dividimos a barragem

H = altura total da barragem

a altura de cada fiada resulta: $h = \frac{H}{n}$.

A influência total exercida sobre a camada (n — x) é proporcional a

$$\frac{1}{2}\left[n - (n - 1)\right] h = \frac{h}{2}$$

A influência total exercida sobre a camada (n — x) é proporcional a

$$\frac{1}{2}\left[n - (n - x)\right] h = 4\,\frac{h}{2}\,, \text{ etc.}$$

Donde, podemos estabelecer a soma total

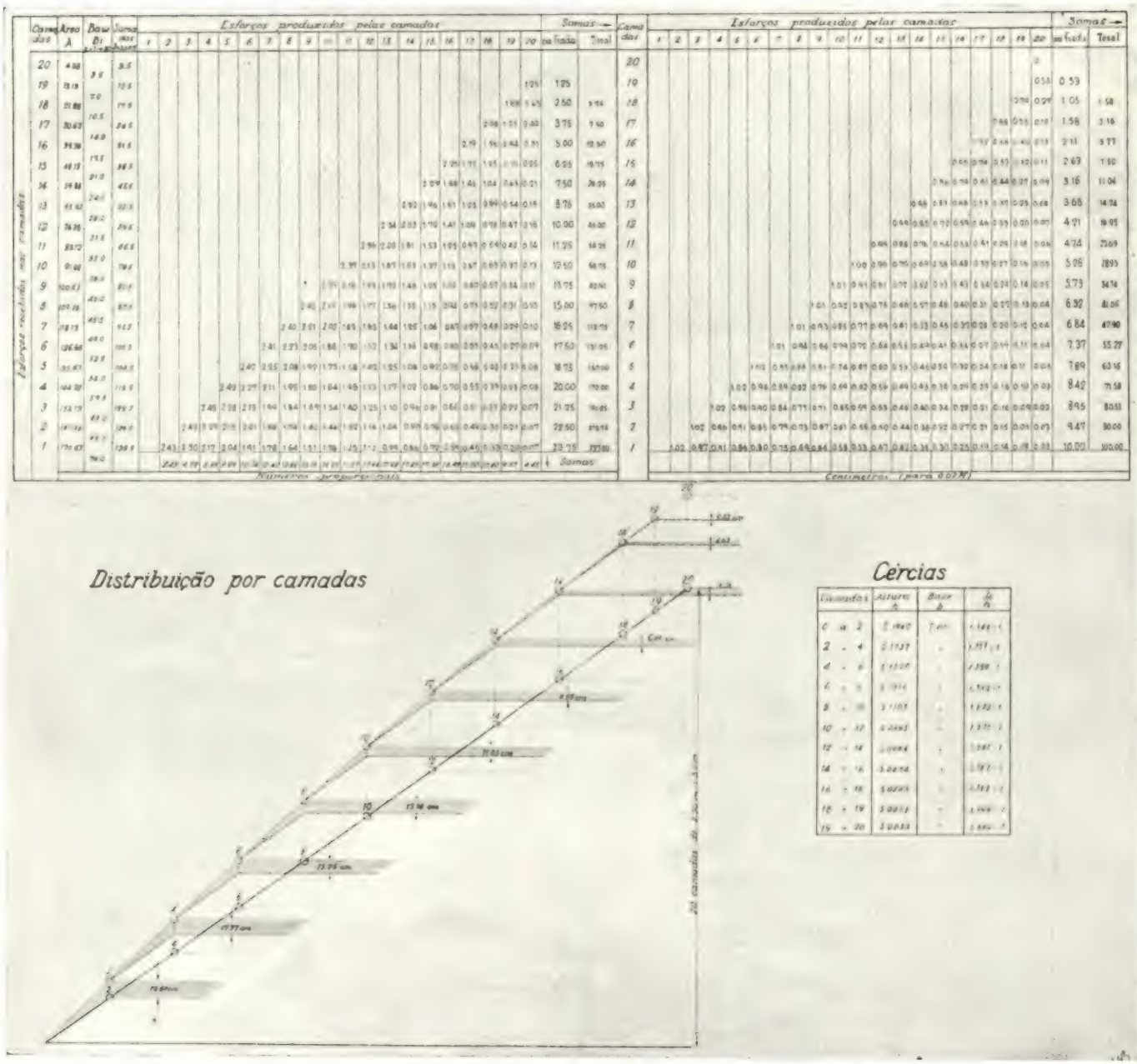
(1) Isto equivale a supor a barragem dividida num número suficientemente grande de camadas, de modo a poder desprezar-se aquilo a que se chamaria «pressão da camada, devida ao seu próprio peso», e que ocasionaria um assentamento próprio da camada.

(2) A pressão que uma camada exerce sobre as inferiores é igual ao seu peso a dividir pela base que o suporta, em cada camada.

O peso da camada, é proporcional à área, em perfil transversal vertical, e a base, é proporcional à base da figura elementar correspondente, do mesmo perfil.

(1) Com os arredondamentos efectuados em cada operação cometem-se erros que vão influir nas somas finais por camadas. No quadro, as somas representadas na horizontal são as somas exactas, que se podem estabelecer *à priori*. As somas verticais, para as quais não estabelecemos lei de sucessão, vêm influenciadas pelos mesmos arredondamentos. (A diferença máxima em números proporcionais é 0,04).

Distribuição hipotética dos assentamentos



Desenho 1

das influências totais em cada camada e que é proporcional a

$$S = \frac{n-1}{2}\left[\frac{h}{2} + \frac{(n-1)\,h}{2}\right]$$

Para o nosso caso concreto de uma barragem com 20 fiadas de 2,5 m de altura, vem:

$$S = \frac{19}{2}\,[1{,}25 + 23{,}75] = 237{,}50$$

Para o caso de querermos deduzir todos os elementos do quadro, convém notar que:

A camada	$n-1$	tem	$n-(n-1)$	elementos
»	$n-2$	»	$n-(n-2)$	»
.....	.....	.....	.....	.....
»	$n-(n-1)$	»	$n-[n-(n-1)]$	»

Os elementos da mesma camada diferem sucessivamente de uma quantidade cons-

tante; chamaremos a essa quantidade *incremento* e representá-la-emos por *i*.

Para uma fiada com N elementos, teremos, chamando *e* ao primeiro:

$$e \qquad e+i \qquad e+2i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad e+(k-1)\,i$$

O valor do incremento de cada camada é um valor conhecido, assim:

Para a camada (1) $n-2 \quad i=\frac{h}{2}$

» » $n-3 \quad =\frac{h}{3}$

» » $n-4 \quad =\frac{h}{4}$

.....

» » $n-(n-1) \quad =\frac{h}{n-1}=\frac{h}{\{n-[n-(n-1)]\}}$

Sabida a soma dos valores de uma camada e sabido o valor do incremento dos elementos da camada, podemos calcular o valor de cada elemento.

Exemplo: *Qual é o número proporcional que traduz a pressão da camada 20 sobre a camada 1 numa barragem de 50 m de altura suposta dividida em 20 fiadas?*

Influência total na camada

$$S_{n-(n-1)}=\frac{1}{2}\left\{n-[n-(n-1)]\right\}h=(n-1)\,\frac{h}{2}$$

$$n=20 \qquad h=\frac{50}{20}=2{,}5\ \text{m}$$

$$S_{n-(n-1)}=19\times 2{,}5\times\frac{1}{2}=23{,}75$$

Incremento

$$I_{n-(n-1)}=\frac{h}{n-1}=\frac{2{,}5}{19}=0{,}132=i$$

Número de elementos da camada

$$Q=\left\{n-[n-(n-1)]\right\}=n-1=19$$

(1) A camada $(n-1)$ tem só um elemento.

portanto

$$S_{n-(n-1)}=e+ei+(e+2i)+\ \ldots\ldots\ (e+18\,i)$$
$$=19e+171i$$

substituindo os valores vem:

$$23{,}75=19e+171\times 0{,}132 \quad \therefore \quad e=\frac{23{,}75-171\times 0{,}132}{19}=$$
$$=\frac{23{,}75-22{,}572}{19}=0{,}062$$

O número proporcional ao esforço produzido pela camada 11 sobre a camada 1 será

$$E=e+(20-11)\,0{,}132$$
$$=0{,}062+9\times 0{,}132=1{,}25$$

* * *

Dum modo geral, para uma barragem de N fiadas, o valor de qualquer elemento de ordem n_i na camada de ordem n_m será

$$E_i=e_{n_m}+(N-n_i)\times I_{n_m}$$

em que

e_{n_m} = valor do *elemento base,* na camada de ordem n_m

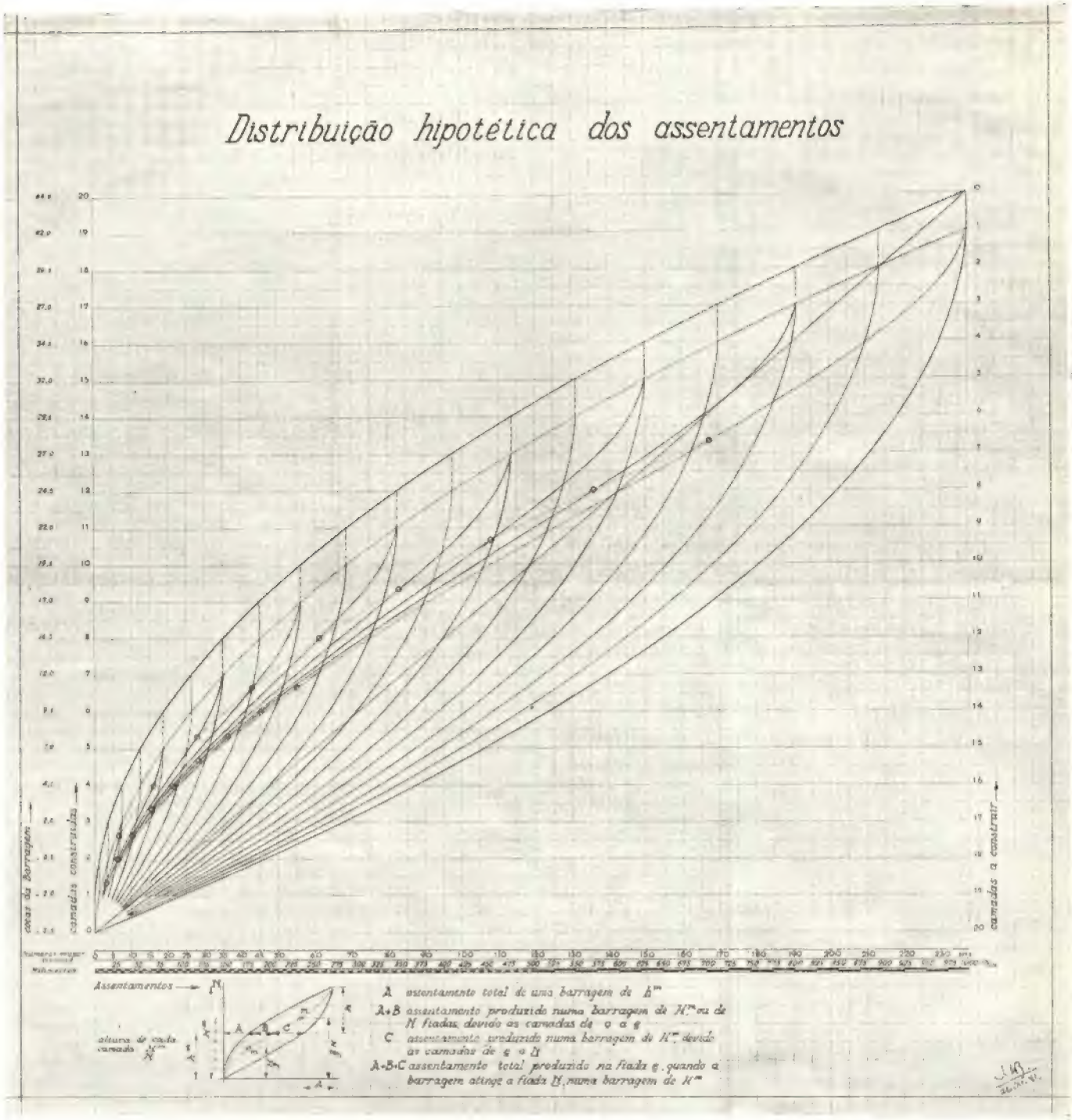
I_{n_m} = valor do *incremento,* na camada de ordem n_m

Ficamos assim com a possibilidade de obter o valor de cada elemento, sem calcular os restantes.

* * *

Pelo modo indicado anteriormente, estabelecemos o quadro dos *números proporcionais* referentes às diversas camadas podemos fazer a sua tradução gráfica, *Des.* 2. Deste gráfico podem tirar-se várias conclusões interessantes, as mais importantes das quais se encontram expressas no *Des.* 2.

Uma vez estabelecida a lei de variação dos assentamentos, há que aferi-la, isto é, há que entrar na



Desenho 2

2 A PARTE

Uma vez que fixemos o assentamento total máximo, podemos, conhecida a lei dos assentamentos, transformar o quadro dos números proporcionais em assentamentos.

Já mais atrás aludimos à falta de elementos que nos permitissem com segurança arbitrar o assentamento total a prever. A percentagem de 5 % a que se aludia anteriormente, refere-se a enrocamento a granel, pelo que seria exagerada no nosso

BIBLIOTECA I.S.T.

caso, tratando-se de enrocamento arrumado. Havia outro factor, também, a tomar em consideração. O coroamento de barragem tem um desenvolvimento da ordem dos 350 m. Era de prever que os assentamentos não obedecessem exactamente à lei estabelecida. Num alinhamento muito extenso, uma recta parecerá sempre abaúlada na direcção do observador, (caso das linhas das asnas), deste modo não havia inconveniente em prever um assentamento superior ao provável. Acrescia ainda o facto de até uma determinada cota, a camada exterior de enrocamento ser assente com argamassa — estávamos pois em presença de um autêntico arco de alvenaria, — o que vinha em reforço da consideração de um assentamento por excesso, pois que se ele se não efectuasse, as juntas de alvenaria também nunca abririam.

Havia ainda a considerar que, se a barragem tivesse sido construída com uma previsão de assentamentos insuficiente a regularização da sua superfície (que se se podia impor por motivos de ordem estética) não trabalharia ligada ao maciço estabilizador. Por comparação com a barragem francesa do Grhib fomos levados a adoptar a percentagem total de 2 °/₀ ou seja:

$$50 \text{ m} \times 0{,}02 = 1 \text{ m}$$

O quadro dos assentamentos, foi graduado em função desse assentamento total, encontra-se exposto no *Des. 1*. Conhecida e aferida a lei dos assentamentos, estabelemos as cércias para a construção (Des. 1) o que correspondia à visada, nas diferentes camadas para cristas fictícias mais elevadas que a real.

Convém notar que, à mesma cota do enrocamento havia mais do que uma cércia, pois que o assentamento era fundamentalmente função do desnível entre a cota do enrocamento e o terreno natural.

* * *

Tal como foi deduzida a lei dos assentamentos, pode aplicar-se a qualquer maciço, inclusivé de terras. Vamos demonstrar que o quadro dos números proporcionais é válido para qualquer jorramento do paramento de enrocamentos arrumados.

Calculemos as áreas A_1 e A_2 das camadas representadas na fig. 2.

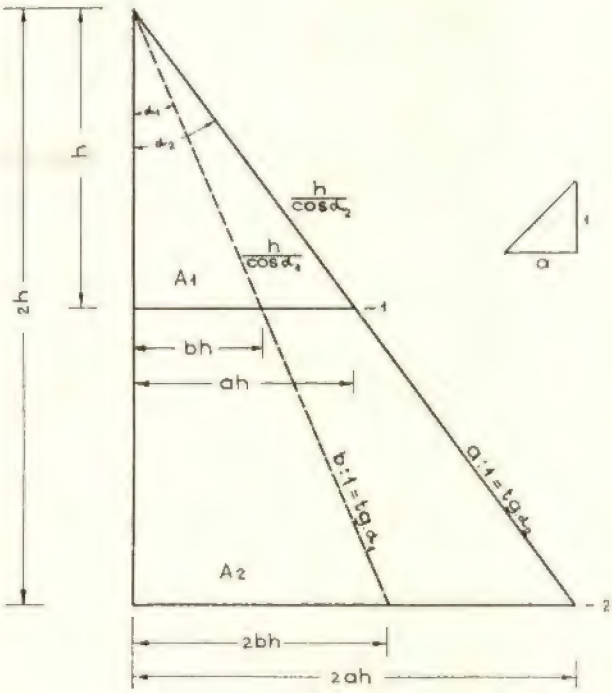


Fig. 2

$$A_a^1 = \frac{1}{2}\,ah + h = \frac{1}{2}\,ah^2$$

$$A_b^1 = \frac{1}{2}\,bh + h = \frac{1}{2}\,bh^2$$

$$A_a^2 = \frac{1}{2}\,(ah + 2a\,h)\,h = \frac{1}{2}\,3ah^2$$

$$A_b^2 = \frac{1}{2}\,(bh + 2bh)\,h = \frac{1}{2}\,3bh^2$$

Os coeficientes da influência provocada pelas camadas de área A_1 sobre a inferior são:

$$C^1_{inf_a} = \frac{A_a^1}{ah} = \frac{ah^2}{2ah} = \frac{1}{2}\,h$$

$$C^1_{inf_b} = \frac{A_b^1}{bh} = \frac{bh^2}{2bh} = \frac{1}{2}\,h$$

Anàlogamente, para os coeficientes de A_2 sobre a inferior

$$C^2_{inf_a} = \frac{A^2_a}{2ah} = \frac{3ah^2}{4ah} = \frac{3}{4}\,h$$

$$C^2_{inf_b} = \frac{A^2_b}{2bh} = \frac{3bh^2}{4bh} = \frac{3}{4}\,h$$

q. e. d.

* * *

Não chegámos a aplicar o presente método senão no início da barragem, não podendo, portanto apresentar resultados de observação. Sabemos, todavia, que a ideia geral exposta foi aceite e aplicada. O tempo dir-nos-á o afastamento entre a teoria e a realidade.

TOPOGRAFIA GERAL

II VOLUME

PELO ENGENHEIRO

CARVALHO XEREZ

TECNICA
554

NOTA
SOBRE A DOSAGEM CONDUCTIMÉTRICA DO CÁLCIO NAS ÁGUAS

PELO DR. ARTHUR DE SOUSA

C. D. 545.38:546.41:663.6

O teor de cálcio nas águas é um elemento muito importante para fixar as qualidades destas e para prever as utilizações domésticas, agrícolas e industriais.

Os métodos usuais de determinação de cálcio exigem eliminação prévia de $Si\,O_2$ (e por vezes de Fe) e portanto evaporações e concentrações que os torna morosos. Só depois, começa a dosagem de cálcio. Esta técnica exige portanto algumas horas para o conhecimento do resultado.

Lembramo-nos utilizar um método de dosagem conductimétrica que oferece duas vantagens importantes sobre o precedente: 1.º — precisa-se duma pequena quantidade da amostra de 100 a 200 ml e 2.º — a dosagem de cálcio leva apenas alguns minutos. Devemos acrescentar que estas vantagens não prejudicam a precisão do método conductimétrico, visto que o rigor é pelo menos tão bom como o do método gravimétrico. Um outro facto interessante é que podemos dosear uma água com teor correspondente N/100 ou N/1000, achando quantidades da ordem de 0.01 g o que não é sempre fácil em gravimetria.

Empregamos o oxalato de potássio para obter a curva de precipitação do oxalato de cálcio. Esta curva obtida segundo a reacção:

$$A_2Ca + K_2C_2O_4 = 2\,AK + Ca\,C_2O_4$$

pelo método das conductibilidades eléctricas, é composta de duas rectas cujo ponto de cruzamento, muito nítido, corresponde ao fim da precipitação completa do oxalato de cálcio.

Todavia, não podemos utilizar directamente uma amostra de água para a titulação conductimétrica sem prèviamente preparar o electrólito para obter uma precipitação «franca», isto é completa, após cada junção de reagente. Por exemplo, tentando titular directamente água da torneira, pelo oxalato de potássio, obtivemos gráficos semelhantes ao da fig 1, constituídos por uma curva e duas rectas que se cruzam.

Porque não aumenta a conductibilidade linearmente desde a primeira junção de reagente? É precisamente devida ao equilíbrio «falso» ou «momentâneo» entre o electrólito ambiente, os sais em dissolução e o precipitado recém-formado. À medida que continuamos a juntar iguais quantidades do reagente, tendemos a um estado de equilíbrio definitivo em A; depois principia a recta AB para em seguida obtermos uma série de pontos constituindo uma recta BC de coeficiente angular muito diferente. As rectas AB e BC cruzam-se no ponto B que nos interessa.

Portanto, enquanto não houver sòmente duas rectas que cortam, existirá sempre qualquer dúvida. Estudemos um pouco em detalhe o que se passa acerca do pseudo-equilíbrio no princípio da titulação.

Examinando a fig. 1, desde O a A, o produto de solubilidade dado pelo produto:

$$\left[C_2\,O_4\right]^{=}\left[Ca\right]^{++} = P$$

não atinge um valor superior a P. Faz-se um equilíbrio provisório entre o precipitado e o electrólito ambiente cuja conduc-

tibilidade aumenta no princípio, atinge um máximo e depois diminui. Isto indica que estamos em presença da formação dum soluto sobresaturado. À medida que o grau de sobresaturação aumenta, a velocidade de precipitação aumenta também e atinge o equilíbrio em A. Desde este momento a precipitação faz-se com regularidade e proporcionalmente as adições de reagente.

Há duas maneiras para evitar esta curvatura inicial e obter no gráfico duas rectas: 1.° — Utilizando germes de precipitação como recomenda Bento Caeiro [1]. Neste caso deveriamos juntar prèviamente à água alguns gramas de oxalato de cálcio preparado segundo a técnica deste autor. 2.° — Utilizar, segundo o nosso método, alguns centímetros cúbicos de álcool etílico que juntaremos à água antes de principiar a titulação.

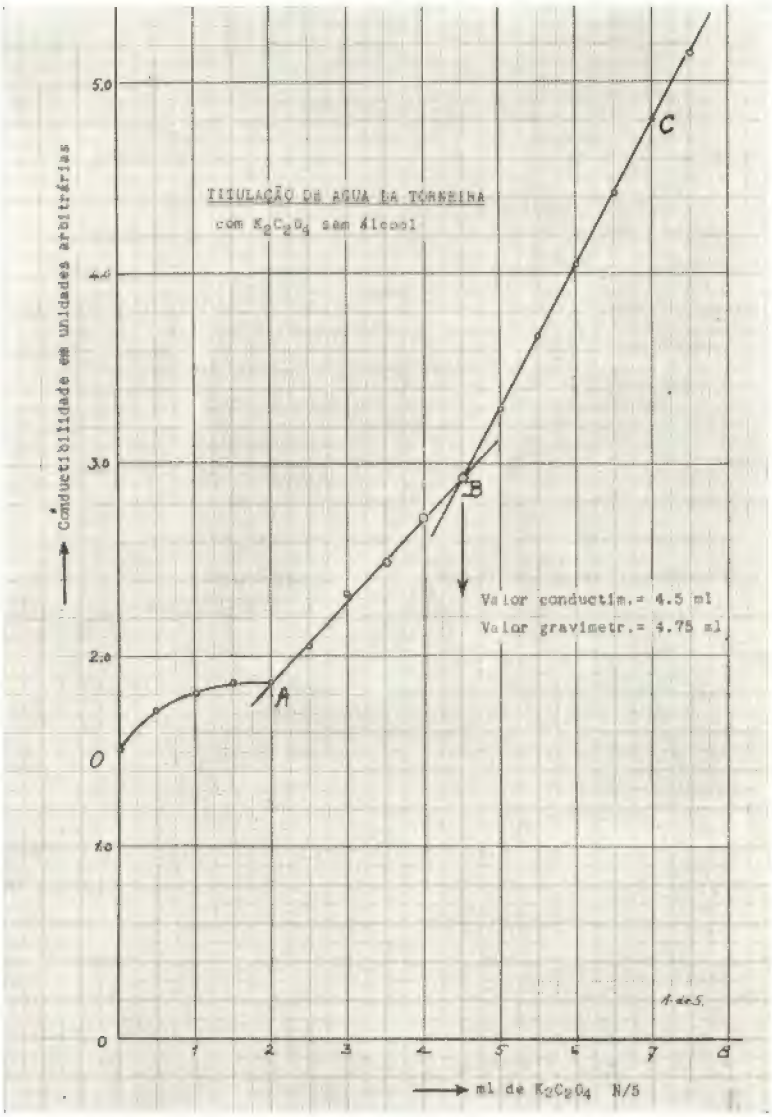


Fig. 1

[1] Bento Caeiro: Dosage physico-chimique par precipitation accélerée (Thèse à l'Université de Lausanne), 1918.

Devemos admitir que o segundo método é rápido e fácil enquanto o primeiro exige preparação demorada e cuidadosa de germes de oxalato de cálcio em estado de grande pureza.

O efeito da adição de álcool é de abaixar o grau de dissociação de ambos os iões

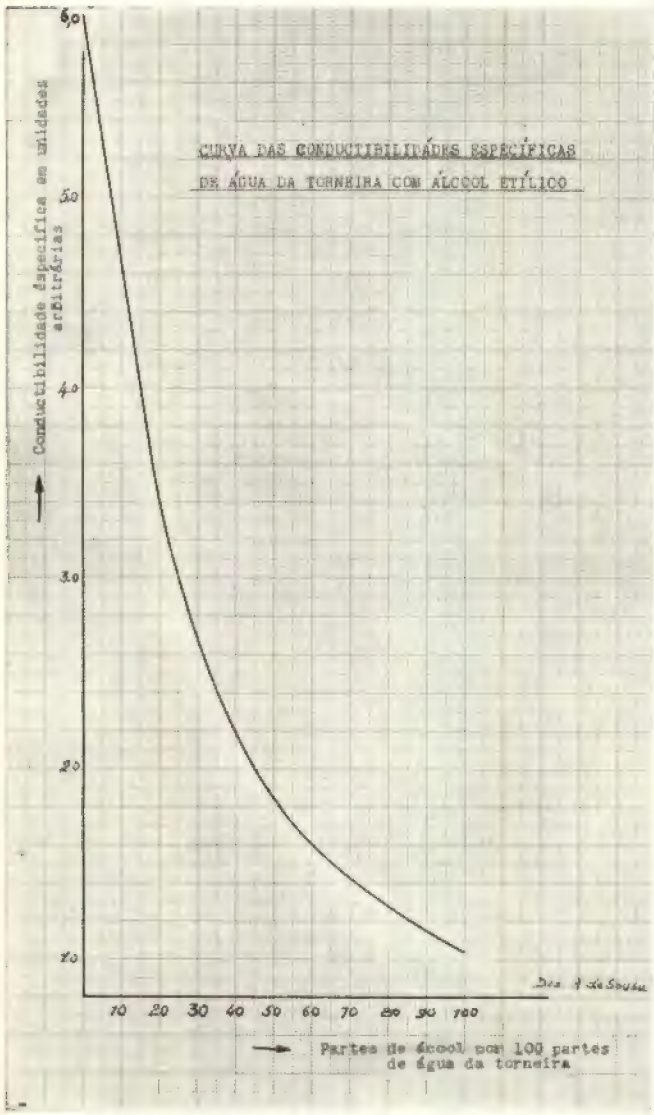


Fig. 2

$[Ca]^{++}$ e $[C_2O_4]^{=}$ e assim o produto de solubilidade é ràpidamente ultrapassado sem passar por vários estados intermediários de equilíbrio. A fig. 2, mostra como vária a condutibilidade duma água segundo várias percentagens de álcool etílico.

Método prático

A uma toma de 400 ml de água para ser analisada, junta-se 160 ml de álcool absoluto. Após agitação, deixa-se repousar no termostato até chegar à temperatura constante desejada. Utiliza-se a montagem da

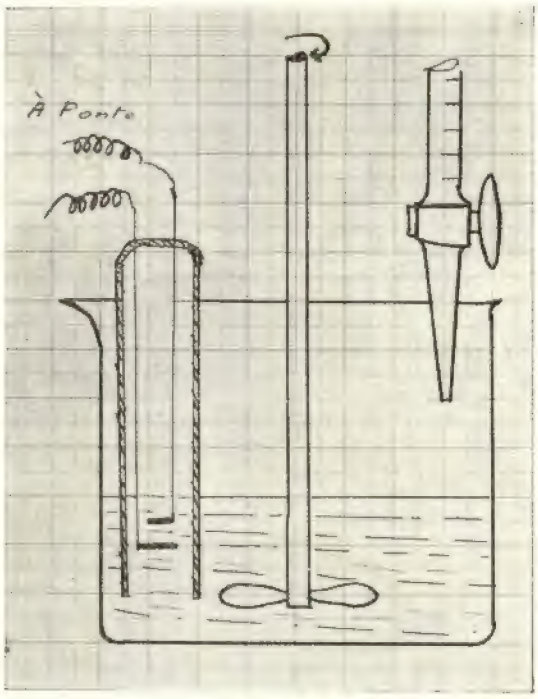


Fig. 3

fig. 3, para dosagens em série ou individuais.

Tira-se 140 ml da mistura (amostra + + álcool) e coloca-se num copo largo para um primeiro ensaio que servirá fixar aproximadamente o número de ml necessários para obter a precipitação completa do cálcio. Como são precisos mais alguns pontos no gráfico, será fácil saber quantas adições suplementares serão necessárias para obter a segunda recta com a mesma precisão da primeira.

Em seguida, faz-se a segunda determinação para o doseamento definitivo. Em caso de dúvida, repete-se o ensaio, e assim até obter resultados concordantes.

A forma da curva de titulação é semelhante à da figura 4, onde se nota ùnica-

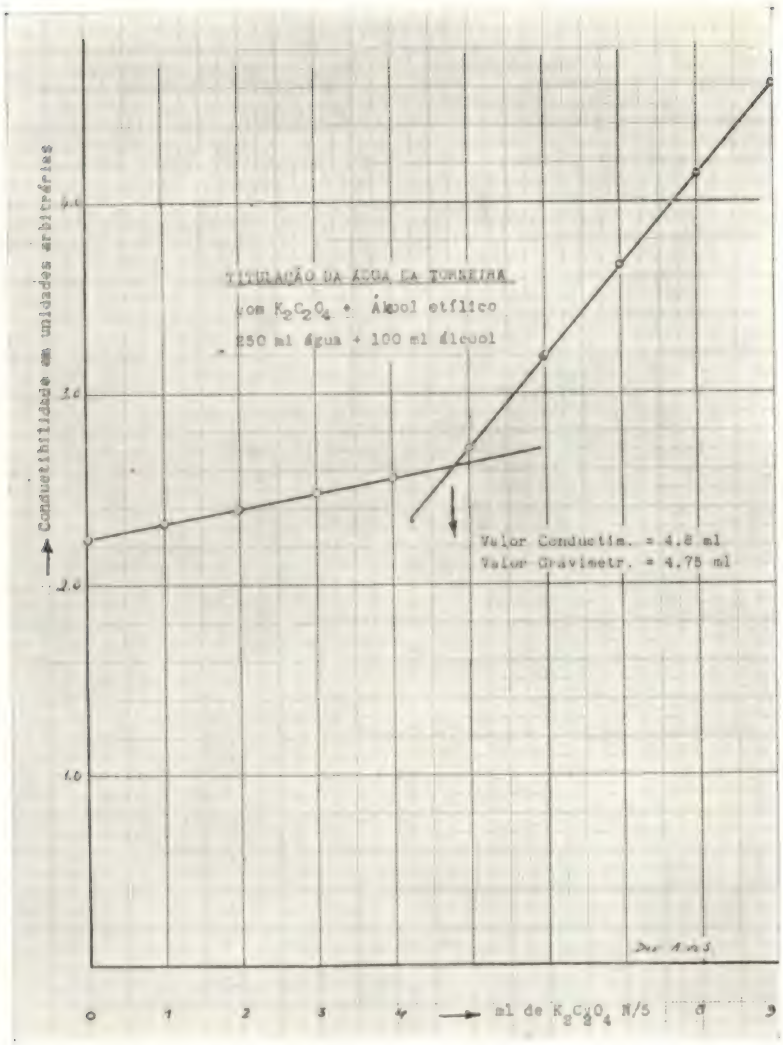


Fig. 1

mente duas rectas que se cruzam num ponto cuja abcissa representa o número de ml de oxalato de potássio e permite o cálculo do teor de cálcio. Podemos também para cada concentração de reagente, achar um coeficiente para multiplicar a abcissa do ponto de cruzamento e obter assim directamente o teor em OCa por litro.

Insistimos sôbre a necessidade de ter uma agitação constante (100 a 200 rotações por minuto) durante toda a operação, fazendo mesmo a leitura inicial (sem qualquer adição de oxalato de potássio) com o agitador em marcha.

Nas nossas medidas utilizamos um soluto de oxalato de potássio N/5 que introduzimos no soluto a titular por meio duma micro-bureta, deitando 1 ml cada vez.

O afastamento entre as medidas conductimétricas e gravimétricas nunca foi superior a 1 %, o que torna o método muito recomendável para a indústria ou para os ensaios das águas nos laboratórios de química analítica.

Agradeço sinceramente ao Sr. Prof. Herculano de Carvalho, todas as facilidades concedidas na realização deste trabalho de investigação.

Laboratório de Electro-Química — Instituto Superior Técnico — Lisboa.

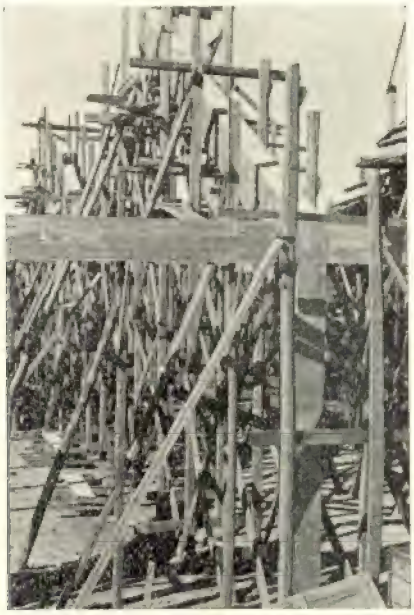
INSTALAÇÃO DE UMA FÁBRICA MODERNA DE MATERIAIS CERÂMICOS DE CONSTRUÇÃO

A «Técnica», sempre preocupada em acompanhar de perto e divulgar todas as manifestações de progresso da indústria nacional, publica hoje uma breve reportagem fotográfica de algumas fases da montagem que a «Cerâmica de Carnide, Ltd.ª» está terminando, de uma fábrica de materiais cerâmicos de construção, segundo os mais modernos processos utilizados nesta indústria.

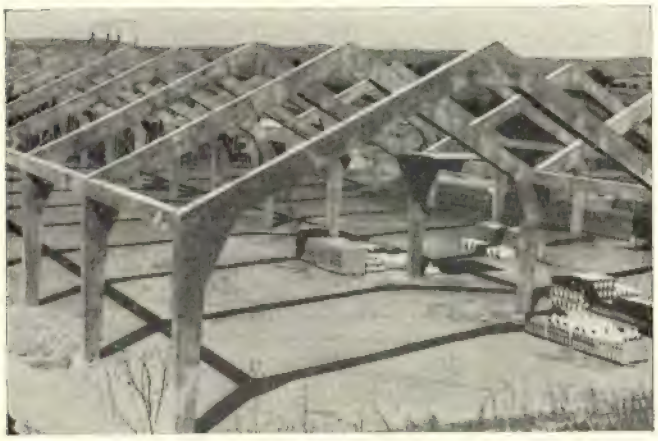
I — CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO FABRIL

Obra executada por Construções Técnicas, L.da

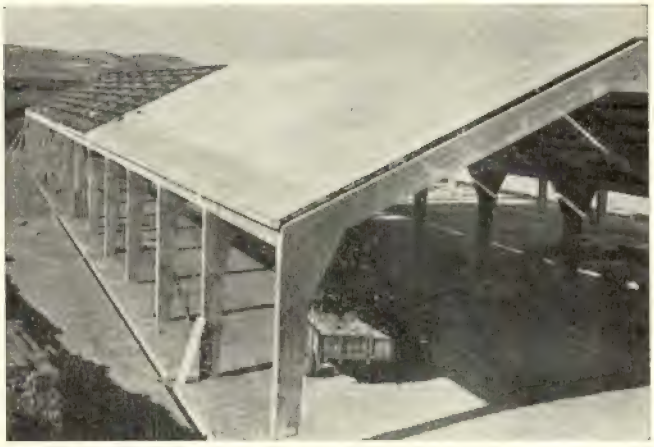
I — Fundação do edifício fabril.
Cravação de uma estaca.



II — Superestrutura do edifício fabril.
Cofragem dos pórticos duplos.

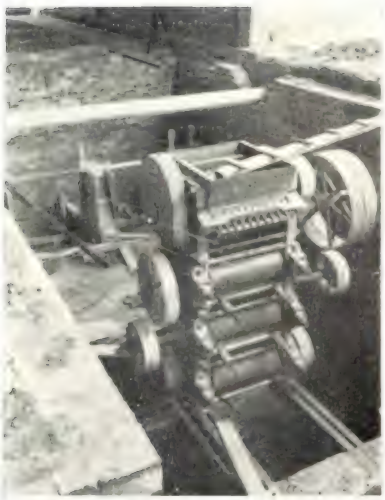


III — Superestrutura do edifício fabril.
Pórticos já betonados.



IV — Colocação da cobertura do edifício fabril.

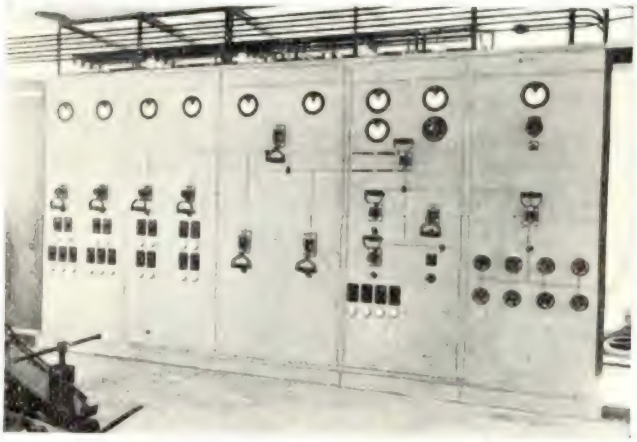
II — INSTALAÇÃO DE MÁQUINAS, SECADORES, FORNO E EDIFÍCIO PARA OPERÁRIOS E GARAGES



V — Grupo destorroador-laminadores dos barros.

VIII — Saída do forno-túnel.

VI — Amassadores e prensas de vácuo.



IX — Quadro geral de distribuição e comando de energia eléctrica.

VII — Saída de um secador-túnel, e ventilador de impulsão de ar quente.

X — Instalações para operários e garages.

REFRIGERAÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA POR MEIO DO CALOR SOLAR

POR ALFREDO NOBRE DA COSTA

Engenheiro mecânico (I. S. T.)
Diploma Imperial College

C. D. 697.9

I — Introdução

Todas as fontes de energia disponíveis devem, em última análise, a sua existência ao fluxo de energia solar incidindo constantemente sobre a superfície da terra e que é transformada por processos químicos e físicos.

Esta transformação é geralmente muito lenta e de fraco rendimento, e muitos combustíveis como, por exemplo, a gasolina e o carvão, estão a ser consumidos mais ràpidamente do que as novas reservas se vão formando. Este facto tem estimulado um certo número de tentativas a uma utilização mais directa da energia solar.

A maior parte das experiências feitas tem sido a captação da energia radiante do sol em superfícies de absorpção, onde ela é convertida em calor, sendo depois utilizada ou como fonte quente de uma máquina térmica ou, mais directamente, no aquecimento de uma residência.

A maior dificuldade encontrada é que, embora a energia radiante do sol seja imensa em quantidade, tem, infelizmente, um grau de disponibilidade muito baixo, o que faz com que as temperaturas atingidas nos aparelhos de captação não sejam muito altas, e por consequência, o rendimento de qualquer máquina térmica utilizando um destes captadores como fonte quente, é muito baixo. As dimensões destas maquinas teriam de ser muito grandes devido à baixa potência específica, aumentando assim muito o seu custo inicial.

Apesar destes inconvenientes, têm sido já obtidos resultados bastante animadores, especialmente, mais recentemente, por meio de processos químicos e foto-químicos, começando-se a encarar muito sèriamente, nos Estados Unidos, a captação de energia solar em grande escala.

É nossa intenção apresentar nas páginas seguintes um processo de utilizar esta energia na refrigeração de uma casa.

Experiências recentes mostram que uma pequena casa pode ser inteiramente aquecida pelo sol, durante o inverno, e nós cremos ser também possível refrigerá-la, durante o verão.

Ao passo que para aquecer uma casa, o armazenamento de energia é indispensável, a fim de se poder manter o aquecimento durante a noite e em tempo enevoado, o problema simplifica-se muito quando consideramos a refrigeração, pois que é justamente quando o sol brilha intensamente que a refrigeração é mais necessária, e, geralmente, durante a noite e em tempo enevoado a temperatura exterior é mais baixa, não sendo preciso manter a refrigeração.

A conversão da energia de radiação solar num efeito de refrigeração, pode ser feita de várias maneiras, mas nós vamos considerar apenas a utilização de um ciclo refrigerante de absorpção.

1) — *Captadores do calor solar*

A energia solar que atinge a superfície da terra é uma forma de radiação e como tal sujeita às leis gerais de radiação. Estas

leis dizem que um corpo radiador perfeito é um corpo cuja emissividade seja igual à unidade e que se designa por «corpo nêgro». A absorvidade deste corpo é também igual à unidade e é superior à de qualquer outro corpo.

Convirá, portanto, que a superfície de um captador seja tanto quanto possível semelhante à superfície de um corpo negro, e para isso é costume pintá-la de preto baço, de modo a absorver um máximo e reflectir um mínimo da energia que sobre ela incide. Em certos casos, a superfície absorvente pode ser um líquido, como, por exemplo, nas experiências de Abbot, em que foi usado o Arochlor misturado com uma pequena porção de negro de fumo em suspensão e que lhe dava uma cor quase completamente negra.

Classificação:

Os captadores de calor solar podem ser classificados segundo o seu grau de concentração, a natureza da orientação (fixos, parcialmente móveis e inteimente móveis) ou até segundo o tipo de isolamento.

Os captadores de superfície plana (concentração igual à unidade), fixos, e isolados com placas de vidro à frente e qualquer isolante como, por exemplo, a cortiça à retaguarda e dos lados, são os mais baratos e provàvelmente os mais indicados para qualquer aplicação industrial.

Com um certo grau de concentração, isto é, empregando espelhos ou lentes que concentrem a energia captada numa certa superfície noutra de menores dimensões, é possível obter temperaturas muito mais elevadas. Mas estes captadores têm de ser mantidos constantemente na mesma posição relativa para com o sol e têm de ser móveis ou então serão apenas efectivos durante uma parte muito pequena do dia.

Os captadores de superfície plana são, por vezes, parcialmente móveis de modo a poderem variar o ângulo com um plano horizontal, de acordo com a época do ano, mas geralmente, não vale a pena incorrer nas complicações mecânicas que daí resultam. Segundo veremos, uma escolha correcta deste ângulo dá valores muito razoáveis durante todo o ano.

Captadores de superfície plana:

A superfície de absorção é plana e constituída por uma chapa metálica ou por um agregado de tubos. No primeiro caso um certo número de tubos é fixado a esta superfície e o fluido que se pretende aquecer circulado no seu interior. É necessário um bom contacto entre os tubos e a superfície de modo a assegurar uma boa e fácil transmissão do calor.

A superfície de absorção é exposta ao sol e isolada contra as perdas por convexão e condução com uma ou mais chapas de vidro, do lado exposto ao sol e com cortiça ou algodão de vidro do lado oposto e dos lados. Os tubos podem ficar directamente expostos à radiação do sol, ou por detrás da chapa que constitui a superfície de absorção.

O número de chapas de vidro que constitui o isolamento tem de ser cuidadosamente escolhido, pois que como o vidro absorve uma certa parcela da radiação que sobre ele incide, quando se pense adicionar mais uma chapa de vidro ao isolamento, deve verificar-se que o correspondente melhoramento devido a um melhor isolamento chegue para compensar a energia absorvida pela chapa adicional. Três a quatro chapas é geralmente o número indicado para a maior parte dos casos.

O conjunto deve ser hermèticamente fechado de modo a evitar infiltrações de ar exterior ou humidade.

2) — *Calor captado e perdas*

A quantidade de calor captado depende de vários factores. Sejam:

q_u — calor captado no fluido que atravessa o captador.

q_a — calor absorvido pela superfície do captador.

q_s — perdas através da superfície anterior.

q_p — perdas através da superfície posterior e lateral.

Para que haja equilíbrio terá de ser:

$$q_u = q_a - q_s - q_p \qquad 1)$$

Para calcular q_a Hottel dá a seguinte fórmula:

$$q_a / A = 10\,[(H_s - H_d)\,R\,.\,r\,.\,a + H_d\,.\,a'\,.\,r'] \qquad 2)$$

onde:

q_a — Calor absorvido pelo captador em cal/hora.

A — Área do captador em m^2.

H_s — Densidade do fluxo de energia solar medida por um pirheliómetro em peq. cal/cm^2 × hora.

H_d — Densidade do fluxo de radiação difusa devido a toda a superfície do céu.

$R = \frac{\cos \Theta_t}{\cos \Theta_z}$ — A razão entre a radiação interceptada por uma superfície inclinada e uma superfície horizontal (respectivamente a superfície do captador e do pirheliómetro).

Θ_t e Θ_z — respectivamente, os ângulos de incidência da luz solar com a superfície de captação e o pirheliómetro.

r e r′ — respectivamente, os coeficientes de transmissão total das chapas de vidro, para radiação solar directa e difusa.

a e a′ — absortividade da superfície negra do captador para radiação solar directa e difusa respectivamente.

As perdas q_s e q_p são calculáveis desde que se conheçam as características do captador.

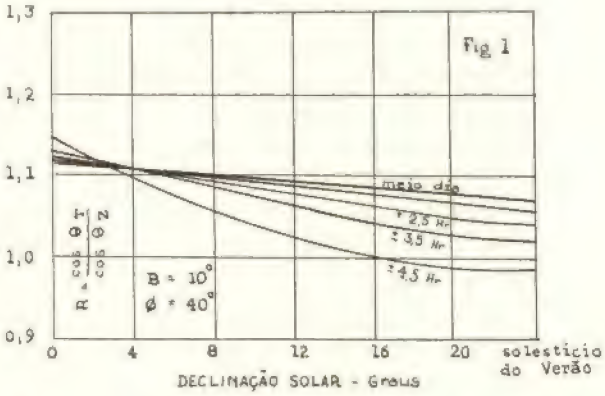
Ao passo que as perdas q_s e q_p dependem da construção do captador, q_a embora também dependa deste (por intermédio de r e r′ e de a e a′) depende principalmente da sua localização, posição, hora do dia e época do ano e ainda das condições atmosféricas.

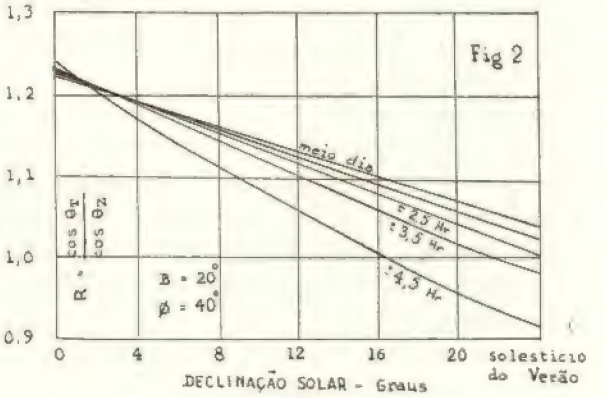
O efeito da poeira acumulada sobre a superfície de vidro exterior verificou-se ser surpreendentemente pequeno, com uma média de 1 % menos energia capturada num captador que era apenas limpo pelo vento ou chuva do que num que foi lavado cuidadosamente todos os dias.

O valor de q_a vai depender muito do valor de R. O valor do ângulo B que a superfície do captador faz com o plano horizontal é muito importante, e deve variar de caso para caso conforme a localização do captador e a época do ano em que se pretende fazer a captação de energia.

Se ø for a latitude, o ângulo que os raios solares fazem com a superfície do captador cuja inclinação é B, será igual ao ângulo que os raios solares fariam com uma superfície horizontal de latitude ø — B.

Nas figuras 1 e 2 representam-se as relações entre os valores de R e a declinação





do sol para diversas horas do dia num local de latitude igual a ø = 40° e assumindo-se inclinações do captador de 10 e 20 graus respectivamente.

Estas figuras mostram que se para B=10° os valores de R perto do solestício do verão são maiores do que para B = 20°, o inverso se passa durante o resto do ano.

Um valor de B = 30° daria a R valores ainda mais elevados, mas apenas durante o Inverno e Outono, sendo R muito menor durante a Primavera e o Verão.

Intensidade de captação:

Embora a fórmula 1) nos permita calcular a quantidade de energia captada num captador de superfície plana, uma vez conhecidas as condições de radiação solar, quando queremos considerar os resultados obtidos com um captador através de um período de tempo grande vamos ter de utilizar valores experimentais.

Nuvens, vento e a temperatura exterior estão constantemente a fazer variar a intensidade de captação sendo destes efeitos o mais importante e o mais difícil de prever o das nuvens. Com efeito um ceu encoberto por nuvens pode não dar nenhuma radiação directa de energia solar, e embora a radiação difusa em geral chegue para compensar as perdas de calor do captador, o ganho positivo em energia será nulo ou muito pequeno.

Hottel, em experiências feitas em Cambridge, Mass. U. S. A., captou num captador de superfície plana em que aquecia água a 77° C, um total de 59.000 Calorias por metro quadrado, desde 9 de Maio a 1 de Julho de 1940.

A latitude era de 42° 22′, e o ceu encontrava-se encoberto durante 64 °/₀ dos dias em que se fizeram leituras. No nosso país a percentagem de tempo encoberto nesta época do ano é geralmente bastante inferior e portanto seria justo esperar resultados mais favoráveis.

Só se realizaram ensaios em 43 dias e portanto a média diária é de:

$$\frac{59.000}{43} = 1370 \text{ Cal/m}^2$$

Outras experiências (Heating & Ventilating — 23,8) determinaram que em aquecedores de água para residências, dum tipo que está bastante generalizado em certas zonas da América, se atingiam as 5.500 Cal/m² por dia, com temperaturas de captação de cerca de 40° C.

Em experiências a que tivemos oportunidade de assistir, realizadas por Chinappa, utilizando um captador de superfície plana com 1 pé quadrado de superfície e que foi mantido sempre normal aos raios solares, obtiveram-se os seguintes valores:

Intensidade solar em Cal / m² × Hora	825	690	550
Temperatura de captação — (Temp. da água à saída do captador)	Calor captado em Cal / m² × Hora		
21	745	653	541
26,5	725	636	530
32	709	620	512
37,5	685	598	496
43	655	572	468
48,5	620	542	430
54	580	500	380
60	530	440	325

As intensidades solares indicadas, de 825, 690 e 550 Cal/m² × Hr correspondem a valores medidos num pirheliometro com ceu claro, muito ligeiramente nublado e ligeiramente nublado, respectivamente.

A subida de temperatura de água ao atravessar o captador durante estas experiências era de 5,5° C, sendo portanto a temperatura média do captador cerca de 2,75° inferior às temperaturas indicadas no quadro acima.

Estes valores mostram-nos como uma subida na temperatura de captação traz imediatamente uma grande quebra na quantidade de energia captada. Por outro lado quanto mais alta for a temperatura de captação melhor será o rendimento da máquina ou dispositivo que esteja a utilizar esta fonte de calor.

Estes últimos valores indicados foram medidos em Londres, onde de um modo

geral a atmosfera está bastante suja e portanto as condições de captação de energia solar são muito más. Como estes valores foram obtidos mantendo constantemente o captador normal aos raios solares, eles correspondem, no caso de um captador de superfície plana que seja fixo, às condições de captação obtidas no instante em que o sol no seu zenite se encontrasse normal ao captador.

II — Ciclo de refrigeração por absorpção

Os ciclos de refrigeração por meio de vaporização de um líquido baseiam-se todos no seguinte ciclo termodinâmico:

Quando um líquido de características adequadas e que se encontra a uma pressão elevada se expande até atingir uma pressão, à qual esse líquido se vaporize passando portanto a existir no estado de vapor saturado, verifica-se uma absorção de calor que é necessário a esta vaporização. Se o líquido escolhido tiver características tais, que esta vaporização se dê a uma temperatura relativamente baixa, vamos ter uma fonte absorvente de calor a baixa temperatura e obter portanto um efeito refrigerante. O vapor assim obtido pode em seguida ser comprimido até se atingir novamente a pressão inicial e depois condensado. Durante esta condensação liberta-se o calor absorvido durante a vaporização e mais o equivalente térmico do trabalho de compressão. O líquido pode em seguida ser novamente expandido e o ciclo manter-se-á à custa apenas do trabalho de compressão.

A quantidade relativamente elevada de trabalho necessária para manter um ciclo destes em funcionamento é devida ao facto de durante a compressão do vapor de refrigerante este sofrer uma variação de volume muito considerável.

Se fosse possível comprimir o refrigerante sob a forma líquida em que a variação de volume durante a compressão é muito pequena obter-se-ia uma redução muito importante no trabalho de compressão.

O ciclo de refrigeração por absorção baseia-se justamente em aproveitar este facto, para o que se faz absorver o vapor de refrigerante a baixa pressão por um determinado líquido, e depois comprime-se a mistura líquida resultante por meio de uma pequena bomba centrífuga, ou qualquer outra bomba adequada.

Uma vez elevada a pressão da mistura líquida o refrigerante é novamente evaporado por meio de um aquecimento da mistura, sendo depois condensado, e o refrigerante líquido obtido por esta condensação utilizado novamente, mantendo-se assim o ciclo em funcionamento.

Deste modo o trabalho de compressão foi muito reduzido, mas em compensação torna-se necessário o emprego de uma considerável quantidade de energia sob a forma de calor, a fim de separar o refrigerante do absorvente após a compressão.

Embora deste modo a quantidade total de energia necessária ao funcionamento do ciclo seja consideràvelmente maior do que quando o refrigerante é comprimido sob a forma de vapor, só uma pequena parte desta energia tem de ser energia motriz, sendo a maior parte da energia necessária energia calorífica, que geralmente é mais barata, resultando portanto em muitos casos uma considerável economia.

Ciclo de absorção simples:

Na fig. 3 representa-se esquemàticaments uma máquina de refrigeração por absorção.

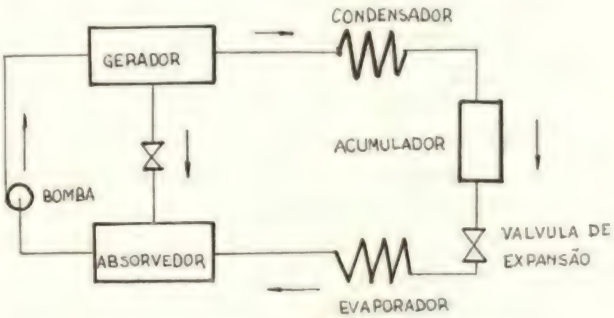


Fig. 3

A marcha do ciclo é sensìvelmente a que se indicou anteriormente sendo no entanto de notar que o líquido absorvente ao sair do «gerador» onde o vapor de refrigerante foi separado por adição de calor, passa

através de uma válvula redutora de pressão, e é utilizado novamente no «absorvedor». Dentro dos limites de pressão e temperatura utilizados na prática o absorvente nunca chega a ficar completamente livre de refrigerante, e assim na passagem da mistura através do gerador apenas se obtém uma redução da concentração em peso de refrigerante em relação ao peso total de mistura.

Têm sido utilizados diversos refrigerantes e absorventes.

As experiências mais recentes têm sido feitas usando o Freon 12 como refrigerante e o éter dimetílico de tetraetilene como absorvente mas devido à falta de informações completas sobre as propriedades das misturas destes dois compostos, vamos fazer a análise que se segue supondo o emprego do Amoníaco como refrigerante e da água como absorvente, visto existirem já publicados numerosos resultados de ensaios feitos com máquinas de refrigeração por absorção utilizando estes dois compostos.

É conveniente no entanto notar que para a aplicação que pretendemos dar a esta máquina — a refrigeração de uma residência — o amoníaco não é nada indicado pois que devido às suas propriedades tóxicas é perigoso o seu emprego em grandes quantidades. Cremos no entanto que os resultados obtidos com o Freon 12 não serão muito diferentes dos que a seguir se apresentam para o amoníaco.

Propriedades das misturas de água e amoníaco:

Se se misturar vapor de amoníaco com água, o vapor é absorvido formando-se uma mistura homogénea, até que atingida uma certa concentração não é possível fazer absorver mais vapor de amoníaco.

Esta concentração limite ou «de saturação» varia com a pressão e a temperatura a que se encontra a mistura.

Se a mistura estiver contida num recipiente fechado, no espaço livre existente sobre a superfície livre do líquido encontram-se vapor de água e de amoníaco, que se encontram misturados, sendo no entanto a concentração de amoníaco desta mistura diferente da concentração no líquido, excepto é claro nos casos limites em que apenas estejam presentes água ou amoníaco puros isto é concentrações de 0 % e 100 %.

Se fixarmos a pressão, podemos traçar a curva da variação da concentração de saturação para diversos valores da temperatura. Obtêm-se deste modo duas curvas, conforme se representa na figura 4, uma para as misturas de vapores e outra para as misturas líquidas.

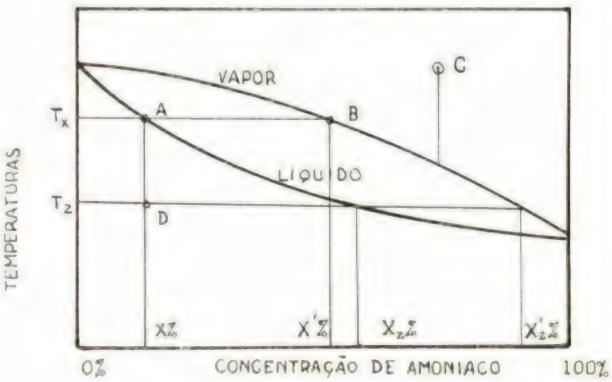


Fig. 4

Assim se a temperatura for de T_x as concentrações de saturação das misturas líquida e de vapor são respectivamente X % e X' %.

Quando a temperatura da mistura saturada muda de Tx para Tz, mantendo-se a pressão constante a concentração do vapor muda de X' para X'z que é menor, condensando-se portanto algum vapor de amoníaco. Podemos admitir com desprezível por muito pequeno, o peso de vapor condensado em relação ao peso total de amoníaco presente na mistura líquida, e portanto podemos considerar que durante esta descida de temperatura não se altera a concentração da mistura líquida e o ponto representativo da mistura líquida desloca-se de A para D, conforme se representa na figura 4.

Considerando uma mistura de vapores sobreaquecida cujo ponto representativo seja C, e se esfriarmos esta mistura mantendo a pressão constante verifica se que o ponto representativo desce verticalmente até que se atinge a linha de saturação. Se continuarmos então a baixar a temperatura ao

vapor, verifica-se que o vapor de água se condensa mais ràpidamente que o vapor de amoníaco e o ponto representativo desloca-se sobre a linha de saturação para baixo e para a direita, aumentando portanto a concentração de amoníaco na mistura de vapores.

Esta propriedade é muito importante, pois que permite separar por meio de uma simples descida de temperatura a maior parte do vapor de água presente na mistura à saída do gerador.

Numa máquina de refrigeração por absorção costuma para esse fim existir um «rectificador» montado em série com o condensador, e estando as coisas dispostas de tal maneira que a maior parte da água presente no vapor que sai do gerador se condense no rectificador de onde se faz regressar ao gerador juntamente com uma pequena porção de amoníaco que se condensa juntamente com ela. A restante mistura de vapores, não condensados, é formada por vapor de amoníaco quase exclusivamente e segue para o condensador.

Convém notar que este processo não se chega a conseguir obter amoníaco puro pois que uma pequena percentagem de água fica sempre misturada com o amoníaco.

Efeitos de mistura:

Os vapores de amoníaco e água misturam-se sem qualquer efeito podendo considerar-se que essa mistura se faz segundo a lei de Dalton. Mas quando o amoníaco e a água se misturam sob a forma líquida nota-se uma contracção de volume resultando um volume igual ao volume da água mais 85 % do volume de amoníaco apenas.

Também resulta um efeito térmico, libertando-se calor quando o amoníaco está a ser absorvido em água, mas apenas enquanto a sua concentração é inferior a 59,4 %. Para concentrações superiores a esta já não se notam efeitos térmicos.

A quantidade de calor libertada foi medida por meio de experiências e existem várias fórmulas empíricas que nos dão o seu valor.

Segundo Mollier:

$$Q = 190 \left(1 - \frac{x_f}{2}\right) - 72{,}5\ x_f^2 \qquad (3)$$

onde:

Q — calor libertado por uma solução de água e amoníaco, inicialmente com uma concentração de amoníaco igual a zero, e uma concentração final x_f menor que 59,4 %, por quilo de amoníaco absorvido.

Como dissémos, quando a concentração exceda os 59,4 %, cessam os efeitos térmicos.

Existe uma outra fórmula simplificada, utilizada por Sparks e que tem a forma:

$$Q = 190\ (1 - x_a) - 225\ x_a^2 \qquad (4)$$

em que Q é o calor libertado em calorias por quilo de amoníaco absorvido por uma solução de água e amoníaco em que x_a é a concentração média de mistura antes e depois da absorção de amoníaco, nunca sendo a concentração final superior a 59,4 %.

Diagrama das misturas de água e amoníaco:

Na figura 5 representam-se sob a forma dum diagrama as propriedades das misturas de água e amoníaco. Traçaram-se as linhas de pressão constante usando como abcissas e ordenadas a concentração de saturação do amoníaco e a temperatura. No mesmo diagrama traçaram-se ainda as linhas de pressão parcial do vapor de água constante, para as misturas de vapores.

Este diagrama, juntamente com tabelas das propriedades do amoníaco e do vapor de água permite-nos determinar todas as propriedades das misturas de água e amoníaco.

Ciclo prático de refrigeração por absorção:

Na prática a máquina simples representada na figura 3 sofre várias modificações a fim de se obter um rendimento mais alto

tomando esquemàticamente a forma indicada na figura 6.

O recuperador representado a traço interrompido nem sempre é utilizado. Ele tem

Este vapor vindo do evaporador entra no absorvedor onde é absorvido pela mistura de água e amoníaco vindo do gerador, e que depois de ter reduzido a sua pressão

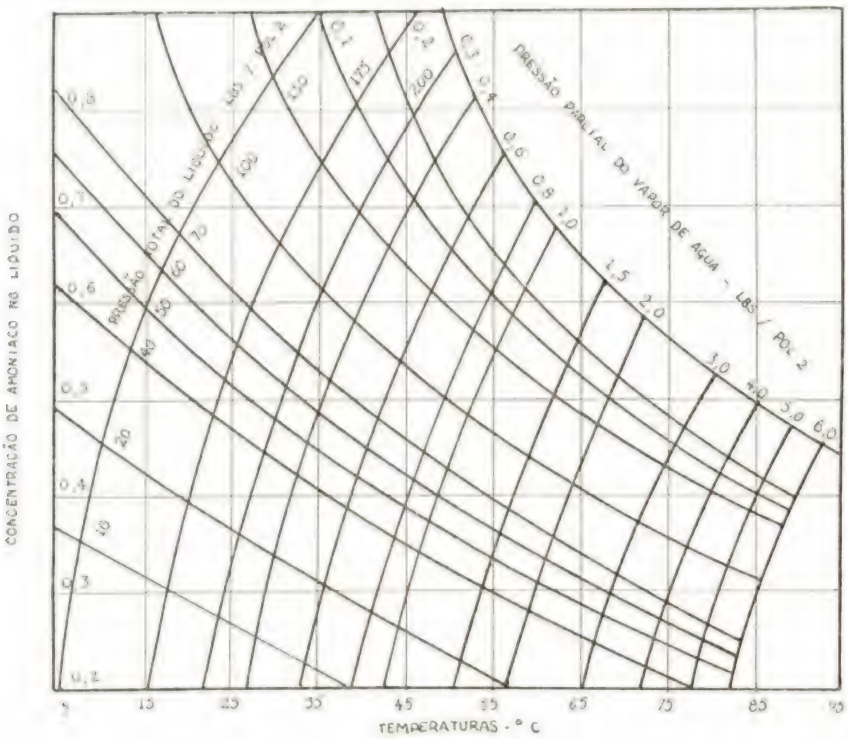


Fig. 5

por fim baixar a temperatura ao amoníaco líquido que sai do condensador antes de ele atravessar a válvula de laminagem que pre-

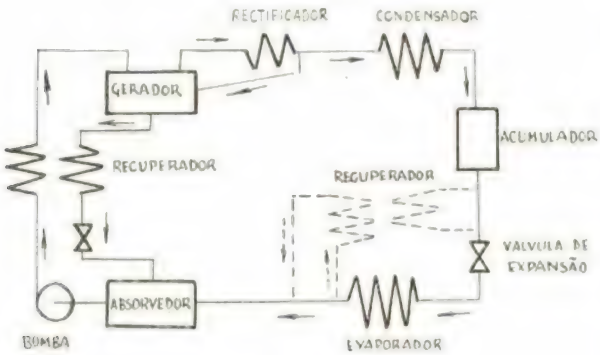


Fig. 6

cede o evaporador. Para isso utiliza-se o vapor de refrigerante que sai do evaporador ainda a uma temperatura bastante baixa.

se encontra com uma concentração de amoníaco inferior à de saturação, estando portanto apta a absorver mais amoníaco.

A fim de se recuperar tanto quanto possível o calor dispendido em aquecer a mistura no absorvedor, e por outro lado com o fim de baixar tanto quanto possível a temperatura no absorvedor, faz-se uma troca de calor entre o líquido que sai do gerador em caminho para o absorvedor, e a mistura saturada vinda do absorvedor e depois de passar na bomba a caminho do gerador.

Para manter baixa a temperatura do absorvedor faz-se uma intensa refrigeração com água que leva não só o calor restante na mistura que vem do gerador, mas também o calor desenvolvido durante o processo de absorção.

Em geral não é possível conseguir que a mistura ao sair do absorvedor esteja de facto saturada e normalmente obtém-se ape-

nas 0,9 a 0,94 da concentração de saturação.

As pressões e temperaturas de funcionamento devem estar escolhidas de tal maneira que a concentração de saturação da mistura à temperatura e pressão reinantes no gerador seja inferior à concentração da mistura que vem do absorvedor de modo a garantir que uma quantidade apreciável de amoníaco se separe. Como já dissémos uma certa percentagem de água acompanha o amoníaco nesta vaporização.

Na parte superior do gerador está um «analisador» que não é mais que um recipiente onde se faz um íntimo contacto entre a mistura líquida que entra no gerador e o vapor quente que sai, de modo a conseguir-se uma certa troca de calor que além de aquecer a mistura líquida vai provocar a condensação de uma parte do vapor de água existente na mistura de vapores.

Conforme já dissemos, a fim de se obter uma separação mais completa dos vapores de água fazem-se os vapores atravessar um «rectificador», refrigerado com água, seguindo depois o vapor restante — então já amoníaco quase puro — para o condensador e finalmente sob a forma líquida o amoníaco dá entrada no «acumulador».

O «condensado» obtido no rectificador corre por gravidade para o gerador entrando assim novamente no circuito.

Balanço térmico de um ciclo de refrigeração por absorção:

A fim de se fazer o balanço térmico deste ciclo terão de se assumir certos valores para a pressão e temperatura em vários pontos do circuito.

De acordo com as possibilidades de um captador de energia solar vamos supor que a temperatura reinante no gerador é de 71° C. Embora seja possível obter temperaturas mais elevadas que esta, a consequente quebra no rendimento de captação não aconselha que se exceda muito este valor. Será vantajoso no entanto, sempre que possível, trabalhar com temperaturas mais altas, a fim de aumentar o rendimento termodinâmico do ciclo de refrigeração.

As restantes temperaturas e pressões são [1]:

Pressão no gerador — 12,3 Kg/cm².
Pressão no acumulador — 11,95 Kg/cm².
Pressão no evaporador — 4,92 Kg/cm².
Pressão no absorvedor — 4,57 Kg/cm².
Temperatura no evaporador — 3° C.
Temperatura do vapor (sobreaquecido) à saída do evaporador — 10° C.
Temperatura da mistura líquida saindo do recuperador e entrando no absorvedor — 38° C.
Temperatura da mistura saturada saindo do absorvedor — 27° C.
Temperatura do amoníaco líquido saindo do condensador — 27° C.
Temperatura do vapor de amoníaco e do «condensado» saindo do rectificador — 43° C.
Temperatura à saída do gerador — 71° C.
Temperatura da mistura saturada à saída do recuperador e antes de entrar no gerador (calculada) — 59° C.

As pressões e temperaturas escolhidas baseiam-se em valores obtidos na prática em máquinas de refrigeração por absorção.

O ciclo de refrigeração seguido pelo amoníaco pode ser representado num diagrama de Mollier como se mostra esquemàticamente na figura 7. A mudança de estado

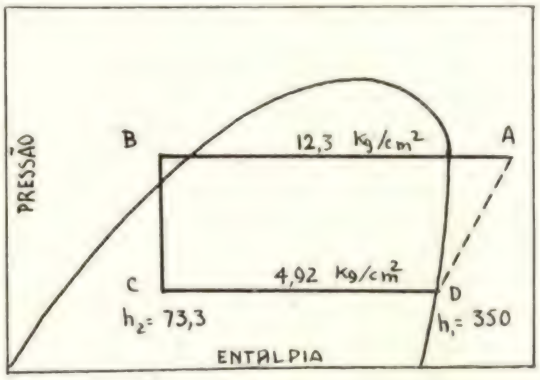


Fig. 7

[1] Como o trabalho original, de que o presente artigo é um extracto foi escrito por nós em inglês, e as unidades usadas foram unidades inglesas resultou que as pressões e temperaturas assumidas não são números inteiros, uma vez feita a conversão ao sistema décimal. Assim por exemplo a pressão no gerador 12,3 Kg/cm² resulta de converter ao sistema décimal 175 lb/pol. quad.

de D para A está representada a traço interrompido pois que corresponde a uma série de transformações complexas como sejam a absorção, compressão, aquecimento e evaporação do amoníaco e que não pode ser representada com exactidão neste diagrama. Indica-se por isso apenas o estado inicial e final.

Por quilo de amoníaco que atravessa o evaporador obtém-se um efeito refrigerante igual a:

Efeito refrigerante:

$$= h_1 - h_2 = 350 - 73{,}3 = 276{,}7 \text{ Cal/Kg}$$

em que h_1 e h_2 são os valores da função entalpia do amoníaco nos estados D e C correspondentes à saída e entrada no evaporador respectivamente.

Estabeleceu-se que o vapor de amoníaco sai do evaporador ligeiramente sobreaquecido como sucede normalmente na prática.

Desta maneira, por «tonelada de refrigeração» (3.020 Cal/Hr) temos de fazer passar no evaporador:

$$\frac{3020}{276{,}7} = 10{,}9 \text{ Quilos de amoniaco.}$$

O balanço térmico completo dá os resultados que se apresentam no quadro junto:

Calor em Calorias / Hr
por tonelada de refrigeração

	Ganho	Perdido
Absorvedor	—	5.590
Bomba	69,5	—
Rectificador	—	219
Gerador.	5.860	—
Evaporador	3.020	—
Condensador.	—	3.140,5
Total	8.949,5	8.949,5

O coeficiente de efeito frigorífico é de:

$$\text{c. e. f.} = \frac{3.020}{5.860 + 69{,}5} = 0{,}51$$

Conclusões:

Pela tabela anterior vê-se que a potência motriz necessária para accionar a bomba é de cerca de 1/9 de CV (equivalente a 69,5 Cal/Hora). Toda a restante energia necessária ao ciclo de refrigeração pode ser captada directamente da radiação solar sob a forma de energia térmica.

O baixo coeficiente de efeito frigorífico obtido (0,51, comparado com 4,5 que é fàcilmente obtido numa máquina frigorífica em que o refrigerante é comprimido sob a forma de vapor) não nos deve preocupar pois que a maior parte da energia utilizada é energia solar cujo preço de custo é nulo. Para uma máquina que comprimisse o refrigerante sob a forma de vapor a potência necessária para o compressor seria superior a um cavalo vapor para obter o mesmo efeito frigorífico.

III — Refrigeração pela energia contida na radiação solar:

Por enquanto nada foi dito acerca de qual a superfície necessária para captar energia suficiente para fazer funcionar uma máquina de refrigeração por absorção suficientemente poderosa para ter aplicação prática. Este ponto é muito importante e vai ser decisivo para este problema, pois que a não ser que se verifique que essa superfície é suficientemente pequena para que seja possível utilizá-la em instalações reais, o sistema não tem aplicação prática.

Já ficou dito anteriormente que a taxa de captação de energia solar depende da temperatura a que se pretende levar a superfície de absorção, da localização, estado do tempo, hora do dia e época do ano.

Visto que não é possível determinar com exactidão a influência de alguns destes factores vamos ter de nos basear sobre os valores obtidos em experiências já feitas, como aquelas cujos resultados foram apresentados resumidamente em páginas anteriores.

No cálculo do balanço térmico dum ciclo de refrigeração por absorção, assumiu-se uma temperatura de saída do gerador de

71° C. A temperatura média do gerador será neste caso de 65° C, visto que conforme foi indicado à entrada é de 59° C.

Julgamos que, tomando como base os ensaios apresentados, é perfeitamente possível obter com esta temperatura no captador um valor médio de 2.200 Cal/m² por dia, num país de clima temperado e durante a época mais quente do ano. (No nosso país, de Junho a meados de Setembro).

A distribuição desta energia captada, pelas diferentes horas do dia é segundo ensaios feitos por Carrier aproximadamente a seguinte:

O efeito total de refrigeração total é de 8 toneladas ou sejam:

$$8 \times 3020 = 24.160 \text{ Cal/dia}$$

Note-se que o efeito de refrigeração vai justamente atingir valores mais altos durante aquelas horas do dia em que a temperatura exterior, é mais elevada, e portanto quando a necessidade de refrigeração é maior.

Em locais onde durante o fim da tarde e à noite as necessidades de refrigeração se mantenham ainda muito elevadas, devido por exemplo à presença de muita humidade

	HORA DO DIA							
	9-10	10-11	11-12	12-13	13-44	14-15	15-16	16-17
Calor captado em Cal/Hr × m²	190	280	330	390	330	280	210	190
Total = 2.200 Cal/dia × m²								

Durante este período de 8 horas a taxa média de captação de energia solar é de 275 Cal/Hr × m². Uma máquina de refrigeração por absorção que tivesse uma capacidade de refrigeração média de uma tonelada, necessitaria de uma superfície de captação de:

$$\frac{5.860}{275} = 21{,}3 \text{ m}^2$$

visto ser 5.860 o número de calorias necessários ao gerador, conforme foi visto anteriormente.

A capacidade de refrigeração desta máquina varia durante o dia com a taxa de captação de energia solar, conforme se indica:

no ar, ter-se-á de usar um sistema de acumulação de água ou de salmoura frias. Isto vai com certeza aumentar muito o custo da instalação ou mesmo torná-la impraticável.

A fim de melhor examinarmos as possibilidades práticas do sistema vamos admitir um caso hipotético de uma pequena residência com as dimensões exteriores aproximadas de 9 × 18 × 18 metros de acordo com o esquema da figura 8, onde se pretenda manter uma temperatura de 27° C e uma humidade relativa de 45 %, quando a temperatura exterior é de 35° C e a humidade relativa de 40 %.

O valor exacto da quantidade de calor que vai ser necessário absorver numa máquina

	HORA DO DIA							
	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
Capacidade de refrigeração em toneladas	0,62	1,02	1,2	1,44	1,2	1,02	0,765	0,69

frigorífica a fim de se manterem estas condições de temperatura e humidade vai depender das características da casa, sua

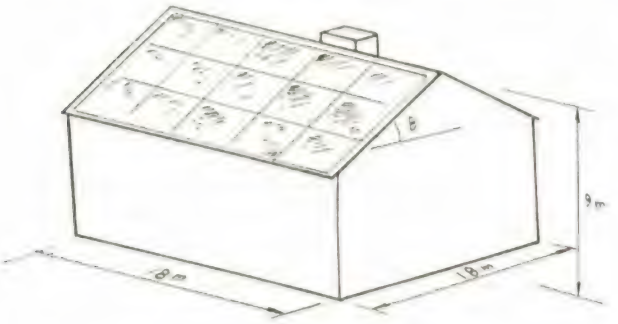


Fig. 8

localização etc., mas vamos supor que é de 25.000 Cal/Hr valor este que não se afasta muito do obtido em muitos casos reais.

Esta «carga» de refrigeração vai ocorrer durante as horas mais quentes do dia apenas, e quando a capacidade de refrigeração duma instalação funcionando com energia solar é de cerca de 1,2 a 1,4 da sua capacidade média ou nominal, como vimos atraz.

Em toneladas de refrigeração esta «carga» máxima vai ser de:

$$25.000 / 3.020 = 8{,}3 \text{ Toneladas}$$

e a máquina terá de ter uma capacidade nominal de:

$$8{,}3 / 1{,}2 = 6{,}9, \text{ ou aproximadamente 7 Toneladas}$$

A área necessária para a superfície do captador será então de:

$$7 \times 21{,}3 = 149 \text{ ou aproximadamente } 150 \text{ m}^2$$

ou seja um rectângulo de $17{,}4 \times 8{,}6$ metros que poderá ser colocado em metade do telhado da casa.

Deste modo é possível construir o captador de energia solar dentro da extructura do próprio telhado o que é naturalmente muito vantajoso. A orientação da casa terá de ser tal, que o telhado do lado onde ficar o captador fique voltado para o Equador e deverá a sua superfície fazer com o plano horizontal um ângulo B que melhor se adapte ás condições de radiação e captação, e que poderá ser determinado a partir de gráficos como os das figuras 1 e 2.

É claro que se poderia ter escolhido para o captador de energia solar uma outra posição, como por exemplo em terrenos adjacentes à casa, mas isto implica a ocupação de mais espaço e possìvelmente a construção de estructuras complicadas que vão aumentar o preço da instalação.

Para casas muito altas, a área do telhado não será naturalmente suficiente para captar toda a energia necessária para refrigeração da casa e provàvelmente a área total necessária para o captador será de tal modo grande que a instalação se vai tornar pouco prática.

IV — Construção da máquina de refrigeração por energia solar

A construção do captador obedece aos princípios já enunciados no princípio deste trabalho. A colocação dos tubos pode ser muita variada, sendo em geral a melhor disposição e espaçamento determinada por ensaios feitos com os materiais que se pretendam empregar e nas condições de temperatura desejadas.

Julgamos no entanto boa uma construção empregando tubos de ferro expostos directamente aos raios solares, com diâmetro de cerca de 1/2″. A fim de assegurar um débito suficiente através do captador poderão ser feitos vários circuitos em paralelo como se representa na máquina da figura 9.

O gerador pròpriamente dito compreende não só o captador, mas também o recipiente colocado à saída deste e onde os vapores de amoníaco e água se separam da mistura líquida, por acção do aquecimento sofrido na sua passagem através do captador.

Na prática este recipiente, o analisador e o rectificador podem por exemplo ficar colocados dentro de uma falsa chaminé colocada sobre o telhado, e portanto a um nível superior ao do captador. O rectificador deve ficar colocado a um nível superior ao do analisador de modo a assegurar o retorno

a este da água e amoníaco que se condensam, simplesmente pela acção da gravidade.

Se a instalação funcionar com amoníaco e água, como vimos supondo, todas as partes metálicas da instalação deverão ser em ferro ou aço, pois que o amoníaco em presença da água ataca os metais não ferrosos.

Controle automático:

A pressão da mistura líquida de água e amoníaco que sai do gerador é superior à pressão reinante no absorvedor, e por isso tem de ser reduzida, o que se faz fazendo essa mistura passar através de uma válvula de expansão. Esta válvula será electro-magnética sendo comandada por um termostato que fecha esta válvula sempre que a temperatura da mistura líquida que abandona o gerador for inferior a 70° C e a abre logo que a temperatura sobe acima de 71° C.

A bomba que comprime a mistura líquida saturada que sai do absorvedor, é comandada por um pressostato que pára a bomba

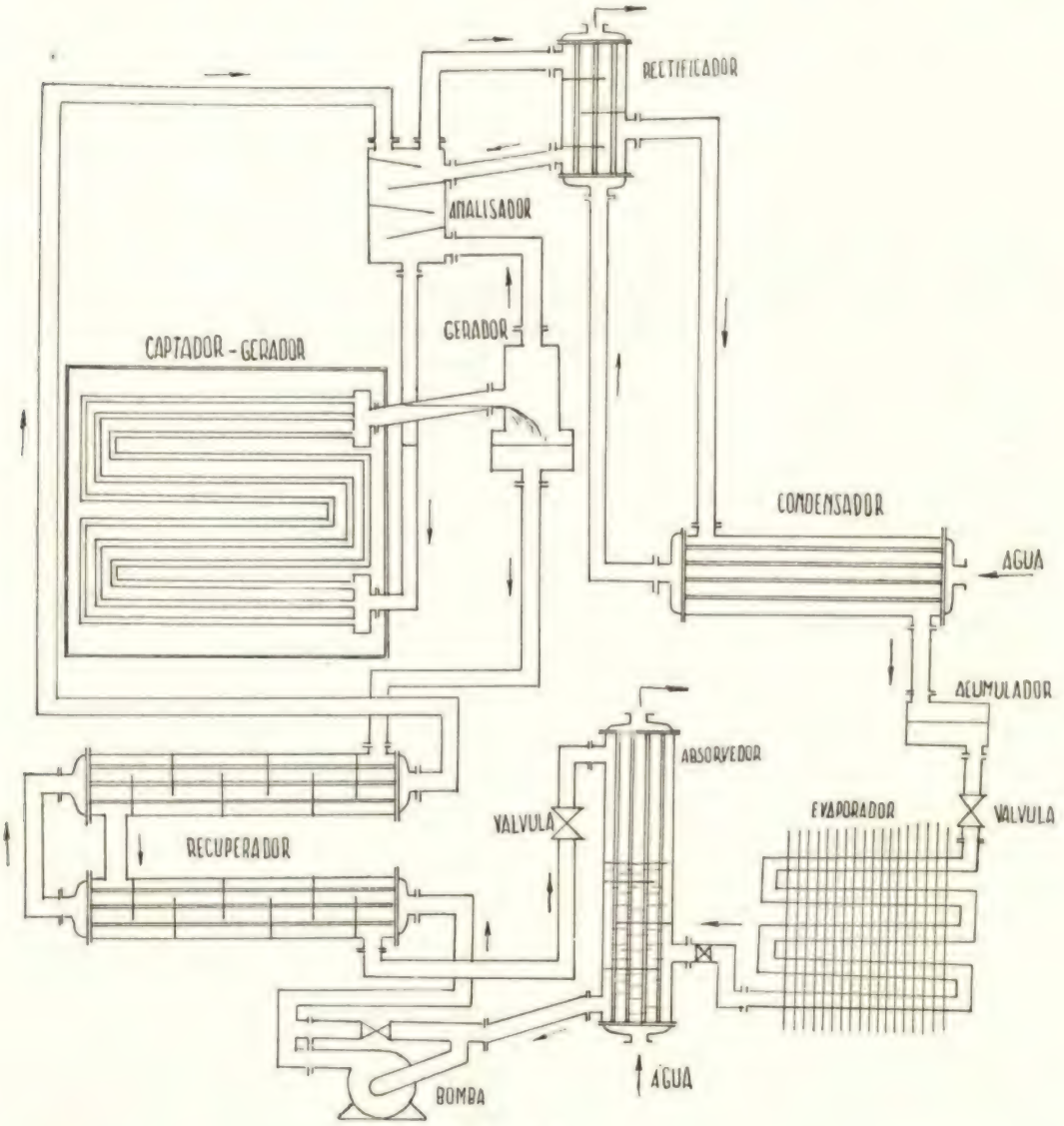


Fig. 9

sempre que a pressão no absorvedor for inferior a 4,3 ou 4,2 Kg/cm^2, e a põe novamente em funcionamento logo que a pressão se eleve a 4,7 Kg/cm^2.

O acumulador de amoníaco líquido tem um controle de nível, que faz parar a bomba e fecha a válvula de expansão da mistura líquida, logo que o nível de amoníaco exceda um certo valor, só pondo de novo a bomba em funcionamento e abrindo a válvula quando o nível tenha baixado de novo.

Se devido ao calor solar a temperatura no captador se elevar aos 71° C desejadas, a válvula de expansão da mistura líquida abre-se pela acção do termostato. Isto vai permitir a passagem da mistura líquida contida no gerador para o absorvedor, onde a pressão se vai elevar até que o pressostato, atingidos os 4,7 kg/cm^2, vai pôr a bomba em funcionamento fazendo passar mais mistura líquida saturada através do captador. Deste modo vamos obter no gerador vapor de amoníaco que passando ao condensador, nos vai dar amoníaco líquido que se junta no acumulador.

Se o caudal de líquido que atravessa o captador de energia solar é excessivo para a quantidade de energia que estamos captando a temperatura vai baixar, até que em determinado momento o termostato vai fechar a passagem de líquido ao absorvedor. A pressão no absorvedor vai então baixar até que a bomba pára, e pela acção do sol a temperatura no captador sobe de novo.

A passagem do amoníaco líquido contido no acumulador ao evaporador, onde pela sua vaporização vai produzir um efeito frigorífico, pode ser controlada por qualquer dos processos normalmente usados em refrigeração comercial, nomeadamente uma válvula solenoidal e uma válvula de expansão termostática.

Se o consumo de refrigerante for inferior à taxa de produção da máquina o nível de líquido no acumulador vai subir até que a válvula de nível desliga toda a instalação. Logo que o nível baixar recomeça o funcionamento.

A bomba de líquido deverá dispor de uma válvula reguladora de pressão e um «by-pass» de modo que a pressão de saída não exceda 12,5 kg/cm^2.

O volume total de água e amoníaco contidos na instalação tem de ser rigorosamente calculado, pois que em caso contrário poderá não haver equilíbrio no funcionamento da instalação.

O volume de amoníaco contido no acumulador terá de ser relativamente pequeno, de modo que o facto de este recipiente estar cheio ou vazio não vá alterar sensìvelmente o equilíbrio. Poder-se-á prever um dispositivo tal que, quando o nível no acumulador baixe excessivamente feche a válvula solenoidal de expansão do amoníaco para o evaporador, permitindo que o nível de amoníaco volte a subir.

Conclusões:

Mostrou-se a possibilidade de obter um efeito frigorífico a uma temperatura suficientemente baixa para poder ser utilizado numa instalação de Acondicionamento de Ar.

O controle e manutenção de uma instalação deste tipo, embora mais complicados do que no caso de se empregar um compressor de vapor de refrigerante, não são todavia fora das possibilidades práticas.

O principal inconveniente deste sistema é o de o custo inicial ser bastante elevado, o que em muitos casos é mais importante do que a economia de funcionamento. É claro que futuros melhoramentos podem vir a permitir a construção de instalações mais baratas e eficientes.

Um aquecedor auxiliar, funcionando com gás ou electricidade poderá ser utilizado com vantagem, quando sob condições atmosféricas especiais seja necessária a refrigeração embora as condições de radiação solar não sejam satisfatórias.

Para a refrigeração de escritórios, teatros, cinemas, etc., em que a «carga» de refrigeração é principalmente necessária para compensar a emissão de calor proveniente de acumulações de pessoas, e em que não existe relação directa entre as necessidades de refrigeração e a radiação do calor do sol, podendo até em certos casos, como

por exemplo no caso de um cinema, ser necessário manter a refrigeração durante a noite, este sistema é inadequado.

Mas para residências onde pràticamente toda a refrigeração necessária é para compensar os ganhos através das paredes, janelas e telhado o sistema pode ser empregado com vantagem e êxito.

Embora tenhamos tanto quanto possível considerado o lado prático da questão durante a análise feita temos de reservar uma opinião definitiva sobre as vantagens do sistema, até que se realizem experiências que confirmem as previsões feitas.

TOPOGRAFIA GERAL

II VOLUME

PELO ENGENHEIRO

CARVALHO XEREZ

TECNICA
573

RÉGUA DE CÁLCULO

Determinação da posição da vírgula

PELO ENG.º CIVIL I. S. T. L. M. H. DE LANCASTRE
Assistente do I. S. T.

C. D. 518.5

Introdução

Todos os que trabalham com a régua de cálculo sabem que o seu manejo é muito simples mas que há dificuldades, para obter o resultado, em determinar onde colocar a vírgula na leitura final feita na régua; sobretudo quando o cálculo for um tanto complexo e não for fácil conhecer «á priori» a ordem de grandeza do resultado.

Em livros sobre a régua de cálculo e nos folhetos que acompanham estas encontramos variados processos para resolver esse problema, mas todos eles com os mesmos inconvenientes: ou não se podem generalizar a todos os cálculos executáveis com a régua, ou são demasiadamente complicados ou ainda difíceis de fixar, para quem não se sirva contìnuamente deles. E isto apesar de algumas réguas trazerem uns sinais destinados a auxiliar a sua aplicação, os quais, para os não iniciados, mais parecem sinais cabalísticos, como por exemplo P—1 Q + 1 ←—+/−|−→ |→ etc.

Há mais de uma dúzia de anos que usamos um processo que arranjámos, por os outros não nos satisfazerem, e só agora, num livro recente (1), encontrámos um método semelhante ao nosso.

Nele e noutros livros, que consultámos para ampliar os nossos conhecimentos e preparar as lições sobre a Régua de Cálculo, que demos aos nossos alunos, encontrámos alguns processos, novos para nós, de resolver certos problemas ou operações com a régua. Verificámos que a eles ainda se podia aplicar o nosso método, tendo-nos sugerido o seu estudo alguns aperfeiçoamentos a este.

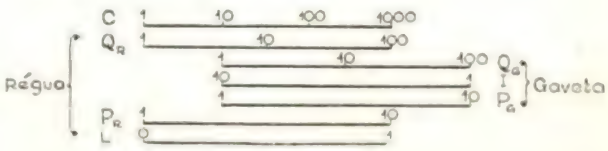
Por ele nos parecer simples, fácil de fixar por ser intuitivo e, por estas razões, útil é que o vimos expor aqui.

Preliminares

Como este artigo se destina a quem já conheça um pouco o manejo da régua de cálculo e portanto, também, o princípio em que se baseia (que é como sabemos a teoria dos logaritmos) não nos alongaremos em descrições e justificações que consideraremos inúteis. Aproveitaremos contudo o ensejo para repetir os processos usuais e ver formas de manejo da régua menos conhecidas, nomeadamente o uso da escala dos inversos.

Para explicar o nosso método empregaremos uma régua sistema Rietz, que das vulgares é a mais completa.

A seguir representamo-la esquemàticamente, indicando a maneira como estão graduadas as escalas e as letras pelas quais representaremos estas.



(1) La Règle a Calcul — Raymond Dudin — Dunod — 1.ª edição: 1945.

Na face superior da régua temos, de baixo para cima, as seguintes escalas:

A escala chamada logarítmica (L), que é, uma escala uniforme, graduada de 0 a 1, e que, para o nosso assunto, não interessa.

A escala principal (P_R), graduada de 1 a 10, porque nela estão marcados comprimentos proporcionais aos logaritmos dos números de 1 a 10. A escala que serviu para esta marcação é igual à escala L, por isso estas duas escalas nos dão por comparação, como sabemos, logaritmos ou antilogaritmos.

A escala dos Quadrados (Q_R) que consideraremos sempre graduada de 1 a 100; se as suas duas divisões estiverem graduadas da mesma maneira (isto é de 1 a 10), convém acrescentar os zeros necessários aos números da segunda divisão, para evitar enganos de leitura.

A escala dos cubos (C) que consideramos sempre graduada de 1 a 1.000, acrescentando à segunda e terceira divisão os zeros necessários, no caso de serem iguais as graduações das três divisões.

Na face anterior da gaveta temos 3 escalas, das quais a de baixo (P_G) é igual à escala principal da régua e a de cima (Q_G) é igual à escala dos quadrados desta, sendo a do meio *a escala dos inversos (I),* cuja graduação é igual e de sentido contrário à da escala principal, e *que consideraremos sempre graduada (da esquerda para a direita) de 10 a 1,* e não de 1 a 0,1 como vem nalgumas réguas.

Chamaremos indistintamente escala principal tanto ao conjunto das duas escalas P_R e P_G como a qualquer delas em separado, pois será sempre fácil perceber de que caso se trata. Anàlogamente chamaremos escala dos quadrados a Q_R ou a Q_G ou às duas.

No reverso da gaveta temos três escalas: a de cima (S) para senos, a de baixo (T) para tangentes e a do meio (S & T) para senos e tangentes de pequenos ângulos. Estas escalas estão relacionadas com a escala principal (P) e adiante as veremos melhor.

S
S & T
T

Para facilitar o desenho das figuras, e até a sua compreensão, usaremos letras para representar os números que marcamos ou lemos nas escalas e que correspondem aos exemplos numéricos que daremos.

Aconselhamos o leitor a executá-los na sua régua, à medida que eles forem aparecendo, porque isso muito facilitará a compreensão da nossa exposição e ajudará a fixar o método explicado.

Princípio geral do método usado

Na régua só lemos números situados entre os limites indicados para as diferentes escalas [1] *e quando os números, que nos aparecerem nos cálculos, excederem esses limites reduzimo-los a números nas condições desejadas,* multiplicando-os ou dividindo-os por potências de 10. Toma-se nota, à parte, das correcções que haverá, por isso, que introduzir depois na leitura feita na régua.

A estas correcções somar-se-ão as que são devidas ao modo como foi executada a operação na régua, à escala empregada, etc.; e a correcção final apurada é a que se aplica à leitura final feita na régua.

Veremos isto à medida que formos estudando as diversas escalas e vendo as operações que com elas se podem executar.

Multiplicações e divisão com a escala principal (P)

Como está graduada de 1 a 10, nela só se podem ler números com um algarismo inteiro, quer dizer com um só algarismo significativo à esquerda da vírgula.

---

[1] Algumas réguas têm algumas escalas prolongadas fora daqueles limites. No que a seguir dissermos abstrairemos sempre da existência desses prolongamentos.

Assim, por exemplo, se tivéssemos que efectuar 325×26 faríamos o seguinte raciocínio:

$$325 \times 26 = 3{,}25 \times 10^2 \times 2{,}6 \times 10$$
$$= 3{,}25 \times 2{,}6 \times 10^{2+1}$$

efectuaríamos com a régua $3{,}25 \times 2{,}6$, que nos dá 8,45 e introduzíamos a correcção final $\times 10^3$, para termos o resultado correcto: 8450

Vamos fazer isto dum modo mais simples.

Quando transformámos 325 em 3,25 deslocamos a vírgula 2 casas para a esquerda; disso tomamos nota à parte escrevendo $+ +$. Isto significa para nós que o número deverá depois ser aumentado (deslocando-se então a vírgula 2 casas para a direita) e portanto também o resultado, por se tratar dum produto.

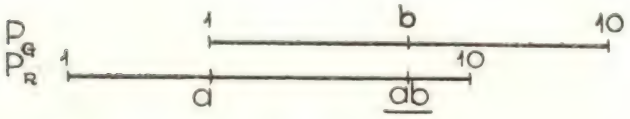
Como ao número 26 aplicamos a correcção $+$, a correcção final será $+ + +$, portanto desloca-se, no fim, a vírgula 3 casas para a direita.

Se tivéssemos o produto $32{,}5 \times 0{,}026$, efectuaríamos na régua $3{,}25 \times 2{,}6$ e à parte $10 \times \frac{1}{100} = \frac{1}{10}$, pelo qual multiplicávamos o resultado (8,45) lido na régua.

Pelo nosso sistema, representando por um sinal — cada deslocamento, da vírgula, para a direita (porque o número depois deverá ser diminuído) teremos

$$32{,}5 \times 0{,}026 \rightarrow 3{,}25 \times 2{,}6 \quad + - -$$
$$\rightarrow 8{,}45 \quad -$$
$$= 0{,}845$$

Em qualquer destes dois exemplos efectuaremos com a régua a mesma operação. $3{,}25 \times 2{,}6$, procedendo do seguinte modo: Acertamos o índice da esquerda (índice 1) da gaveta com 3,25 (= a) lido na régua e debaixo do 2,6 (= b) lido na gaveta, lemos o resultado 8,45 (= a b).



Tratando-se de vários números procedemos anàlogamente: escrevemos dum lado os números corrigidos (adaptados à régua) e do outro as correcções, fazendo a soma algébrica dos sinais $+$ e $-$, para ter a correcção resultante, o que é muito fácil, pois basta inutilizar simultâneamente um sinal $+$ e um $-$ e contar os que restam (da mesma natureza). Ex.:

$134{,}5 \times 0{,}00264 \times 210$

$1{,}345 \times 2{,}64 \times 2{,}1 \qquad (+)(+)(-)(-)(-)(+) +$

$7{,}46 \qquad +$

Não é isto muito mais simples de executar e de ler do que efectuar as contas com as potências de 10, embora estas se reduzam à soma algébrica dos seus expoentes?!

Pode haver quem observe que isto também corresponde a ler, sobre a escala, comprimentos iguais às mantissas dos logaritmos dos números, com os quais se trabalha, executando à parte a soma das características. De facto assim é, mas este raciocínio já é difícil de aplicar quando se trabalhar com as escalas dos quadrados e por isso ainda tem menos interesse do que aquele que se serve das potências de 10.

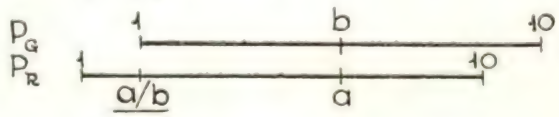
Vejamos agora a divisão:

Se para o nosso raciocínio usássemos as potências de 10 seria fácil ver que para ter o resultado final teríamos de mudar o sinal ao expoente da que multiplica o dividendo. Do mesmo modo, no nosso método, mudaremos os sinais da correcção do dividendo.

Ex.: $\frac{587}{0{,}213} \rightarrow \frac{5{,}87}{2{,}13} \quad \frac{+ +}{-}$

$\rightarrow 2{,}755 \quad + + +$

Para efectuar o cociente 5,87 : 2,13, com a régua lemos o dividendo (a) na escala da régua (o que sempre faremos), marcamo-lo com o cursor e deslocamos a gaveta até acertar o divisor 2,13 (= b), lido nesta, com o dividendo; debaixo do índice da esquerda (índice 1) da gaveta lê-se o cociente 2,755 $\left(= \frac{a}{b}\right)$, na régua.



Podemos completar a regra atrás enunciada (em itálico) acrescentando:

... deslocando convenientemente a vírgula e representando cada deslocamento desta (duma casa) por um sinal + se for para a esquerda e por — se for para a direita, e mudando depois os sinais das correcções dos números que aparecem a dividir. Ao resultado lido na régua aplica-se a correcção final apurada, deslocando a vírgula de tantas casas para a direita ou para a esquerda quantos forem os sinais + ou — daquela (ou seja ao contrário do que antes fizemos, como é natural).

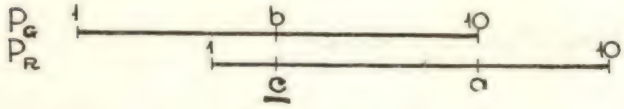
Pode suceder que ao efectuar uma multiplicação ou uma divisão com a régua, procedendo da forma acima indicada, quando pretendemos ler o resultado verificarmos que ele cai fora da régua. Por exemplo: $0{,}00032 \times 452$ $\quad 25{,}8 : 0{,}042$.

Proceder-se-á então da seguinte maneira, depois de reduzidos aqueles números (para os poder ler nas escalas) e de se ter tomado nota das correcções correspondentes:

Para a multiplicação acerta-se o índice da direita da gaveta (índice 10) com um dos factores 3,2 (= a) e faz-se debaixo do outro factor 4,52 (= b) a leitura 1,49 (= c) na régua.

Isto equivale [1] a dividir o 1.º factor (a) por 10 e depois multiplicar por *b*; a leitura obtida *c* deverá ser multiplicada por 10, isto é aplica-se-lhe a correcção +, independentemente das outras correcções

$$3{,}2 \times 4{,}52 - - - - + + + \rightarrow 1{,}49 - = 0{,}149$$



$10c = ab$

Para a divisão acerta-se o divisor 4,2 (= b), lido como sempre na gaveta, com o dividendo 2,58 (= a) lido na regua, lê-se 6,14 (= c) sobre esta, debaixo do índice da direita daquela (índice 10). Essa leitura (c) deverá ser dividida por 10, porque o que fizemos corresponde a ter multiplicado por 10 o cociente [1]. Serve a última figura, trocando o *a* com o *c*.

$$\frac{2{,}58}{4{,}2}\ \frac{+}{- -} \rightarrow \frac{2{,}58}{4{,}2}\ + + + \rightarrow$$

$$\rightarrow 6{,}14 + + + - \rightarrow 614$$

Podemos resumir isto numa regra única, fácil de fixar:

Quando na multiplicação ou divisão empregarmos o índice da direita da gaveta (índice 10) a leitura feita na régua deverá ser multiplicada ou dividida por 10 ou melhor: aplica-se-lhe a correcção + ou $\frac{0}{+}$ (= —) conforme a natureza da operação realizada, independentemente das outras correcções.

Ex.: Seja multiplicar 0,0054 por 32,6 e dividir o resultado por 0,065.

$$5{,}4 \times 3{,}26 - - - + \rightarrow 1{,}76 - - + \rightarrow 1{,}76 -$$

$$\frac{1{,}76}{6{,}5}\ \frac{-}{- -} \rightarrow 2{,}708 + - \rightarrow 2{,}708$$

É claro que, se só interessa o resultado final, é mais prático efectuar primeiro a divisão e depois a multiplicação,

$$\frac{5{,}4}{6{,}5} \times 3{,}26\ \frac{- - -}{- -} + \rightarrow$$

$$\rightarrow 2{,}708 - - - + + + \rightarrow 2{,}708$$

Multiplicação e divisão com a escala dos quadrados (Q)

Esta escala dá leituras menos precisas do que a principal, mas tem sobre ela a vantagem de podermos sempre obter, dentro da régua, um produto ou um cociente de dois números, sem tentativas inúteis, como às vezes sucede com aquela.

---

(1) Para não alongarmos mais esta exposição e por considerarmos conhecida não faremos a justificação deste procedimento, a qual é simples mas demorada.

(1) Ver a nota anterior.

Basta para isso tomar os dois factores do produto com um só algarismo inteiro, pois mesmo que o produto venha com dois ainda está dentro da régua. Ex.: $0{,}0032 \times 452$

$3{,}2 \times 4{,}52$ — — — + + → 14,45 — → 1,445

Para a divisão, quando o dividendo for menor que o divisor (depois de reduzidos a um só algarismo inteiro) devemos ler o dividendo na segunda divisão da escala (portanto com dois algarismos inteiros) e o divisor na primeira (logo só com um).

Ex.: 25,8 : 0,042

$$\frac{25{,}8}{4{,}2}\ \frac{0}{--} \rightarrow 6{,}14 + + \rightarrow 614$$

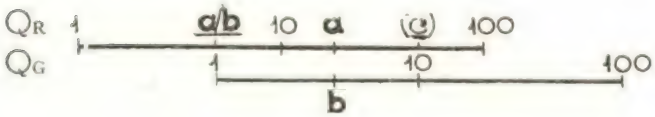
É claro que se quisermos também podemos ler um dos números ou os dois na segunda divisão, as correcções serão diferentes mas o resultado final será o mesmo do que se os tivéssemos lido na primeira divisão.

Ex.: 325×26 587 : 0,213

$3{,}25 \times 26$ + + → 84,5 + + → 8450

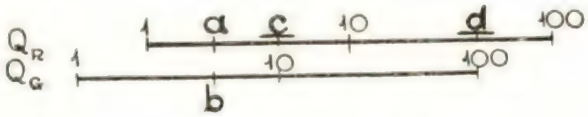
$$\frac{58{,}7}{21{,}3}\ \frac{+}{--} \rightarrow 2{,}755 + + + \rightarrow 2755$$

Notemos que, neste último caso, se lêssemos por cima do 10 obteríamos 27,55, que é 10 vezes o que lemos por cima do 1; o que é natural pois equivale a ter multiplicado por 10 aquele número (2,755). Portanto teríamos que aplicar uma correcção — àquela leitura.



$$\frac{c}{10} = \frac{a}{b}$$

Do mesmo modo se, para executar a divisão 25,8 : 0,042, marcarmos 2,58 (= a) e 4,2 (= b) na primeira divisão, não podendo ler por cima do 1, vamos ler por cima do 10 um valor (c) 10 vezes o resultado, isto é com a correcção —. Se formos ler por cima do 100 teríamos *d* que é 100 vezes o resultado, logo correcção — —.



$$\frac{c}{10} = \frac{a}{b} = \frac{d}{100}$$

Anàlogamente para a multiplicação: se quisermos multiplicar 42,5 por 53,2, lendo aqueles números na segunda divisão, verificamos que o resultado sai fora, então pode-se deslocar a gaveta até o índice 100 coincidir com o 42,5 e ler sobre o 53,2, teremos 22,6, que se multiplicará por 100, porque se dividiu por 100 o outro factor (correcção + +). Se lêssemos sobre o 5,32 teríamos 2,26 a que se aplicaria a correcção + +, por se ter usado o índice 100 e + por se ter tomado 5,32 em vez de 53,2; ou seja ao todo + + +. Se tivéssemos usado o índice 10, em vez do 100, a correcção correspondente seria +.

Em resumo: podemos estabelecer agora uma regra geral para as escalas principal e dos quadrados.

Numa multiplicação ou divisão, quando nos servimos do índice 10 (ou 100) à leitura feita na régua aplica-se a correcção + *ou* $\frac{0}{+} = -$ $\left(+ + \text{ ou } \frac{0}{+\ +}\right)$ *conforme a natureza da operação realizada, independentemente das outras correcções.*

Quadrados e cubos

Lendo na escala principal (P) um número (reduzido a um algarismo inteiro) teremos, por cima dele e nas escalas respectivas, o seu quadrado (em Q) e o seu cubo (em C).

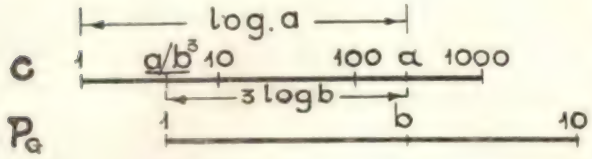
As correcções a aplicar às leituras feitas nestas escalas *serão o dobro ou o triplo das correcções das bases.* Exemplos:

$(0{,}042)^2 \rightarrow (4{,}2)^2$ (— —) 2 → 17,64 — — — —

$65^3 \rightarrow (6{,}5)^3$ (+) 3 → 275 + + +

Quando tivermos produtos ou cocientes de cubos, quadrados e potências de expoente unidade devemos reportar as correcções à escala em que se faz a operação. Assim por exemplo para $a:b^3$, lido a sobre C, por meio do cursor fazemos com ele coincidir b, lido sobre P_G e por cima do índice 1 deste lemos, em C, $\frac{a}{b^3}$. Como justificação basta dizer que subtraímos a log a um comprimento igual a 3 log b, visto que corresponde ao comprimento log b, lido em baixo. Se as correcções forem + + para a e + para b, teremos

$$\frac{++}{(+)3} = ++--- = -$$



Raiz quadrada ou cúbica

É a operação inversa, lido o número em Q (ou C) temos por baixo, em P, a raiz quadrada (ou cúbica), mas há que ver em que divisão daquelas escalas se deve ler o número dado, para obter um resultado verdadeiro.

Para a raiz quadrada multiplica-se ou divide-se o radicando por potências de 100, isto é *desloca-se a vírgula de 2 casas de cada vez, até o reduzir a um número com 1 ou 2 algarismos inteiros, sendo a correcção* a fazer, à leitura feita, *um + por cada deslocamento daqueles para a esquerda e um — se fosse para a direita.*

Para a raiz cúbica divide-se ou multiplica-se o número por 1000^n, ou seja *desloca-se a vírgula de 3 casas de cada vez, até obter um número de 1 a 3 algarismos inteiros, sendo a correcção correspondente um + por cada deslocamento da vírgula para a esquerda e um — se for para a direita.*

Exemplos:

$\sqrt[2]{7230} \rightarrow \sqrt{72,3}+ \rightarrow 8,5 + \rightarrow 85$

$\sqrt[3]{0,00032} \rightarrow \sqrt[3]{320} -- \rightarrow 6,84 -- \rightarrow 0,0684$

Quando tivermos operações sob radical devem-se efectuar primeiro que tudo, reduzindo-se depois o radicando ao número conveniente para a extracção da raiz.

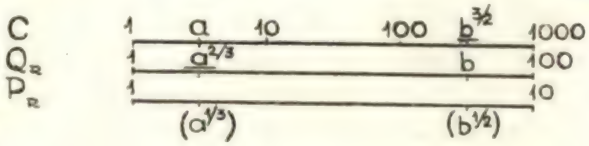
Exemplo: $\sqrt[2]{\frac{44,32}{0,3}}$

$\frac{44,32}{0,3} \rightarrow \frac{4,432}{3} \frac{+}{-} \rightarrow 1,47++ \rightarrow 147$

$\sqrt{147} \rightarrow \sqrt{1,47} + \rightarrow 1,212+ \rightarrow 12,12$

Quando tivermos potências do tipo $a^{2/3}$ ou $b^{3/2}$, que se resolvem lendo a em C e $a^{2/3}$ em Q_R (passando para justificação por $\sqrt[3]{a}$, lido em P_R) ou b em Q_R e $b^{3/2}$ em C, teremos, como no caso anterior, que efectuar primeiro as correcções necessárias à extracção da raiz. Exemplo:

$(0,01)^{2/3} \rightarrow (\sqrt[3]{10})^2\ (-)2 \rightarrow 2,15 -- \rightarrow 0,0215$ → 0,0464



Escala dos inversos (I)

Nesta escala o comprimento medido desde o índice da direita (1) até qualquer número n, representa o log n.

O comprimento total da régua será log 10 = 1, logo o comprimento medido desde o índice da esquerda (10) até ao n será $1 - \log n = \log 10 - \log n = \log \frac{10}{n}$

Os números inscritos nesta escala, graduada de 10 a 1, são pois os inversos, multiplicados por 10, dos números situados por baixo deles na escala principal (P). Por isso há quem gradue e leia a escala dos inversos em décimos.

Nós consideraremos sempre a escala dos inversos graduada em unidades (de 10 a 1) e quando trabalharmos com ela como escala de inversos, isto é quando considerarmos

---

Na fig. falta a meio da escala Q_R a graduação 10.

segmentos lidos desde o índice da esquerda até ao número lido na escala, faremos a correcção — .

Quando utilizarmos segmentos lidos desde o índice da direita até ao número da escala ela funcionará da mesma maneira que P_G e não haverá aquela correcção.

Vamos dar vários exemplos dos dois casos, para eles serem melhor compreendidos.

1) Escala I usada como escala de inversos.

Ex. 1:

$$\frac{1}{428} \rightarrow \frac{1}{4{,}28} \text{ — — } \rightarrow 2{,}34 \text{ — — — } \rightarrow 0{,}00234$$

Ex. 2:

$$\frac{1}{\sqrt{0{,}235}} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{23{,}5}} \; \frac{0}{-} \rightarrow 2{,}065 + - \rightarrow 2{,}065$$

Para resolver este problema lê-se 23,5 em Q e sobre o I o 2,065; como justificação lembremos que em P se lia a raiz $\sqrt{23{,}5}$ (cujo inverso está por cima, em I).

Ex. 3: a : b

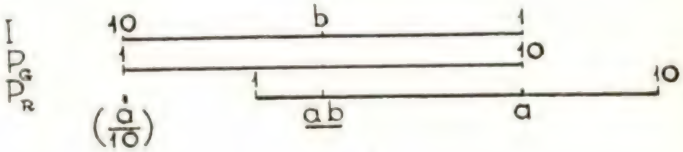
Para executar esta divisão efectuamos o produto de *a* pelo inverso de *b* $\left(a \cdot \frac{1}{b}\right)$, acertando o índice da esquerda de I com o *a* lido em P_R e sobre este lê-se *c*, debaixo do *b* lido em I; *c* será o cociente procurado, multiplicado por 10, por isso aplica-se-lhe a correcção — (da escala dos inversos).

$$\frac{c}{10} = a/b$$

Seja calcular deste modo 3540 : 76

$$\frac{3{,}54}{7{,}6} \frac{+++}{+} \rightarrow 3{,}54 \frac{1}{7{,}6} ++ \rightarrow 4{,}66 ++- \rightarrow 46{,}6$$

Pode-se dar o caso de ao querer fazer a leitura final, verificarmos que o *b* tenha saído fora da régua. Então ajusta-se o índice da direita, da escala I, com o *a* e lê-se o resultado sobre o *b*, fazendo por isso a correcção +, porque aquele movimento correspondeu a dividir *a* por 10 (como se vê fazendo o raciocínio com a escala P_G) e a multiplicar depois por 1/b. Como temos a correcção — (da escala dos inversos) lê-se imediatamente o resultado *ab* na régua.



Ex. 4: a . b

Raramente se executa um produto isolado utilizando a escala dos inversos, mas isto aparece em operações compostas, como no Ex. 5.

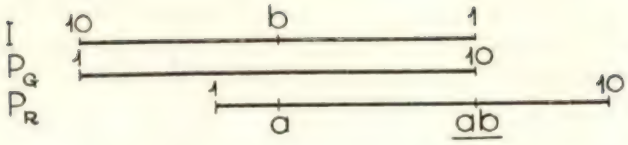
Efectuamos uma divisão $\left(a : \frac{1}{b}\right)$ subtraindo o segmento correspondente a $\frac{1}{b}$ do que corresponde a *a*, lendo-se depois *c*, sobre P_R, por baixo do índice da esquerda de I. A *c* aplicamos a correcção $\frac{0}{-} = +$ porque a escala dos inversos se usou a dividir.

Seja calcular 0,024 × 635

$$2{,}4 \times 6{,}35 \text{ — — } ++ \rightarrow 2{,}4 : \frac{1}{6{,}35} \rightarrow 1{,}523 + \rightarrow 15{,}23$$

$$10\,c = a\,b$$

Aqui também se pode dar o caso de, ao querer ler debaixo do índice da esquerda de I, tal não ser possível por ele ter saído da régua, então lemos sob o índice da direita e aplicamos à leitura feita a correcção — por aquele movimento corresponder a ter multiplicado o cociente por 10 (utilizando para isso a escala P_G). Mas como temos também a correcção $\frac{0}{-} = +$ (da escala dos inversos usada a dividir) segue-se que lemos imediatamente o resultado.



Pelos dois últimos exemplos e suas variantes, vemos que para a escala dos inversos, utilizada como tal, podemos enunciar uma regra idêntica à que enunciámos só para a escala principal:

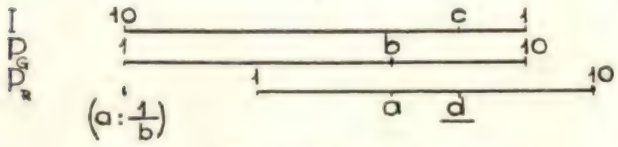
Quando na multiplicação ou divisão empregamos o índice da direita (da escala I) à leitura feita na régua teremos que fazer a correcção + ou $\frac{0}{+}$ conforme o género da operação.

Querendo falar nos índices 1 e 10, de I, diremos que quando usamos o índice 1 teremos, nas mesmas condições, uma correcção + ou $\frac{0}{+}$.

Ex. 5: *abc* com um só movimento da gaveta.

Efectua-se primeiro, como sabemos, $a : \frac{1}{b}$, usando a escala I e depois o produto daquele valor por *c*, usando P_G. Teremos aqui a correcção $\frac{0}{-} = +$ devido à escala dos inversos ser usada a dividir.

O facto de o correspondente a $\left(a : \frac{1}{b}\right)$ estar fora da régua (ver a fig.) não interessa para as correcções, porque o resultado final é lido dentro dela.

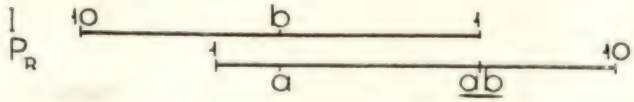


$10\,d = a\,b\,c$

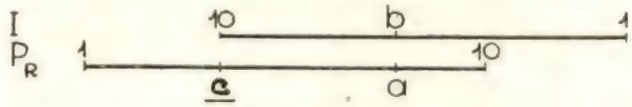
2) Escala I usada em vez da escala P_G.

Ex. 6: a . b

Somamos os logaritmos correspondentes utilizando P_R e I, para isso acertamos *a* e *b* e lemos o resultado (*ab*) sob o índice 1 de I.



Se saísse fora da régua teríamos que ler, sob o índice 10 de I, o resultado dividido por 10, que é *c*; portanto com uma correcção +.

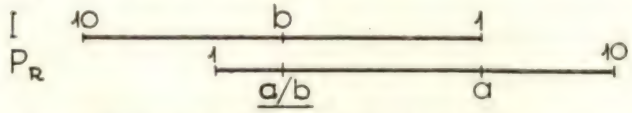


$10\,c = a\,b$

Vê-se que o uso da escala I para o produto tem a vantagem de nos permitir sempre ler este sem tentativas inúteis, como sucede por vezes usando as escalas principais.

Ex. 7: a : b

Subtraímos os logaritmos correspondentes, como se vê na figura.



Se por acaso *b* saísse fora da régua, ajustava-se o 10 de I com o *a* e lia-se sob o *b* o cociente multiplicado por 10; haverá pois que fazer uma correcção — (note-se que esta posição é a que corresponde a $a \cdot \frac{1}{b}$, empregando a escala dos inversos como tal).

Vemos pois que utilizando a escala I, do mesmo modo que a escala P_G, as regras enunciadas atrás (em itálico) para P_G subsistem. Podemo-las pois completar nestes termos:

Utilizando a escala I, do mesmo modo que a escala P_G (o que quer dizer que se tomam os comprimentos desde o 1 até ao número) as regras usadas para esta subsistem.

Se a utilizarmos como escala dos inversos (isto é considerarmos os segmentos desde o

10 até ao número) teremos que introduzir a correcção —, quando determinamos inversos ou nos servimos dela para multiplicar, ou $\frac{0}{-} = +$ *se aparece a dividir. Nestes dois últimos casos, quande nos servimos do índice da direita em vez do da esquerda teremos ainda a correcção + ou* $\frac{0}{+} = -$, *conforme a natureza da operação.*

Esta última parte é fácil de fixar e assemelha-se ao que atrás enunciámos, basta pensar que: *introduzimos aquela correcção em todos os casos em que temos de usar um índice que não seja aquele que mais naturalmente deveríamos usar.*

Escalas trigonométricas

Nas escalas S e T estão os ângulos cujos senos e tangentes variam de 0,1 a 1. Como estas escalas correspondem à escala P, quando queremos conhecer o valor do seno ou da tangente comparâmo-las com esta, e o valor lido nesta divide-se por 10, quer dizer:

Para as escalas S e T há que fazer a correcção — .

O mesmo se diz quando trabalhamos com aquelas escalas e a escala P.

Exemplos:

425 sen 13° → 4,25 sen 13° ++ →
→ 9,57 ++− → 95,7

$\frac{0{,}025}{\text{tg } 25°} \rightarrow \frac{2{,}5}{\text{tg } 25°} - - \rightarrow 5{,}36 - - \frac{0}{-} - \rightarrow 0{,}0536$

Na escala S e T estão os ângulos cujos senos e tangentes variam de 0,01 a 0,1 e como esta escala corresponde a P o caso é semelhante ao anterior, apenas com a diferença de se *aplicar a correcção* — — .

Na multiplicação ou divisão com as escalas trigonométricas emprega-se a mesma correcção que com a escala P, quando se utiliza o índice da direita em vez do da esquerda, além das correcções acima indicadas.

Naquelas réguas em que não há escala especial para senos e tangentes de pequenos ângulos, geralmente uma das escalas (S e T) ou as duas correspondem à escala Q e como esta varia de 1 a 100 na escala ou escalas que lhe correspondam, a variação será de 0,01 a 0,1; vê-se pois que se devem empregar com a correcção — — .

Índices fixos

1) $M = 31{,}83 = \frac{1}{\pi} \cdot 100$, de modo que para termos $\frac{1}{\pi}$ teremos de dividir por 100, isto é aplicar a correcção — — .

2) $78{,}54 = \frac{\pi}{4} \cdot 100$ (traço à esquerda do 80 de Q_R), pela mesma razão, querendo $\frac{\pi}{4}$, teremos de usar a correcção — — .

3) $\rho' = 3.438'$ (número de minutos sexagesimais contidos num radiano).

Na escala P_G vem ρ' correspondente a 3,438, logo haverá que empregar a correcção + + + .

4) $\rho'' = 206.250''$ (número de segundos sexagesimais contidos num radiano).

Como na escala P_G vem ρ'' correspondente a 2,0625 a correcção será + + + + +

5) $\rho^{c} = 6.366^{c}$ (número de minutos centesimais que contém um radiano) ou $= 636.600^{cc}$ (número de segundos centesimais do mesmo), logo a correcção será + + + ou + + + + + .

Note-se que para os ρ^{c} há uma mnemónica muito fácil para fixar as correcções: Serão iguais ao número de algarismos necessários para escrever os ângulos (pequenos) com os quais elas se empregam

$*^{\circ}\ **'$ $\quad *^{\circ}\ **'\ **''$ $\quad *,**^{grad}$ $\quad *,****^{grad}$

Conclusão

Embora a explicação deste nosso método tenha sido necessàriamente longa, para

mostrar que ele se aplica a todos os casos resolvidos com a régua de cálculo, a sua aplicação é muito simples, como se pode verificar experimentando-o, pois as correcções + e — vão-se escrevendo seguidamente no papel, à medida que vamos executando as operações com a régua; lido nesta o resultado, corrigimo-lo colocando a vírgula no devido lugar, dado pela correcção final, apurada pela inutilização simultânea dos sinais + e —, em igual número.

Também nos parece fácil de fixar este método por ele ser intuitivo e as regras serem muito simples e relativamente poucas, como podemos verificar resumindo, a seguir; todos os que nos apareceram no decorrer deste estudo (e que estão impressas em itálico).

Não esqueçamos que são destinados à régua sistema Rietz, mas fàcilmente se adoptam a uma de outro tipo.

Consideram-se as escalas P e I graduados de 1 a 10, Q de 1 a 100 e C de 1 a 1.000.

Os números nelas lidos devem estar compreendidos nesses limites, para isso desloca-se convenientemente a vírgula tomando nota disso à parte, representando cada deslocamento duma casa por um sinal + se for para a esquerda e por um —, se for para a direita.

Os índices fixos também têm correcções M (— —), 78,54 (— —), ρ' (+ + +), ρ'' (+ + + + +), ρ''' (+ + + ou + + + + +).

Quando se quer extrair a raiz quadrada (ou cúbica) desloca-se a vírgula de 2 em 2 casas (ou de 3 em 3) até obter um número com 1 ou 2 (1 a 3) algarismos inteiros; a cada deslocamento daqueles corresponde uma correcção, para a leitura feita, de um sinal + ou —

Para o quadrado (ou o cubo) a correcção final é dupla (ou tripla) da da base.

Quando a escala I for usada como escala dos inversos aplica-se-lhe uma correcção —. Com as escalas S e T (quando correspondem a P) usa-se a correcção — e com S & T no mesmo caso) — —

Quando um número ou uma escala aparecem a dividir trocam-se os sinais da correcção respectiva.

Na multiplicação ou divisão (dividendo sempre lido na régua) com as escalas P, Q ou I usada como P (lida da direita até ao número) quando se tiver de usar o índice 10 (em vez do 1) aplica-se uma correcção + ou $\frac{0}{+} = -$, conforme a natureza da operação, se usarmos o índice 100 (de Q) as correcções serão + + ou $\frac{0}{+\,+} = - -$

Usando a escala I, como escala de inversos, para multiplicar ou dividir, faz-se a correcção + ou $\frac{0}{+} = -$, respectivamente, quando se utilizar o seu índice da direita.

As escalas S, T e S & T assemelham-se à escala P nas correcções provenientes da forma como são usadas a multiplicar ou a dividir.

Ao resultado final lido sobre a régua aplica-se a correcção final obtida depois de feita a eliminação de igual número de sinais + e — das correcções parcelares, deslocando-se então a vírgula para a direita ou para o esquerda, de tantas casas quantos os sinais + ou — que ficaram, para assim se obter o resultado final correcto.

Nota — Havendo operações sob radical devem-se efectuar completamente e calcular o radicando corrigido antes de calcular a raiz.

SECAGEM

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL LUÍS A. DE ALMEIDA ALVES
Assistente do I. S. T.

(Conclusão)

C. D. 66.047.001

CAPÍTULO III

APARELHAGEM UTILIZADA NA EVAPORAÇÃO

a) *Generalidades*

Teòricamente, qualquer sistema que permita fornecer calor ao líquido a evaporar, pode ser utilizado para realizar a evaporação. O vapor obtido pela vaporização tem de ser condensado e o calor libertado na condensação pode ser aplicado na evaporação de líquidos de pontos de ebulição menores ou do mesmo líquido a pressões inferiores. Este último caso corresponde à *evaporação por múltiplo efeito.*

O calor de vaporização pode ser fornecido por um gás quente através da superfície livre do líquido ou por um fluido qualquer através de paredes em contacto com o líquido quer sejam as do próprio recipiente quer as de tubagens de aquecimento. Em qualquer dos casos, há vantagem em que a superfície de transmissão de calor seja tão grande quanto possível, aumentando a superfície livre do líquido ou das paredes através das quais o aquecimento se efectua. No primeiro caso, trata-se, em geral, de estudar a transmissão de calor entre dois filmes em série (um gasoso e outro líquido) e, no segundo, há que acrescentar, ainda, a condução através das paredes das superfícies de aquecimento.

O vapor formado pode ser retirado por arrastamento juntamente com o gás de aquecimento, no primeiro caso, ou por condensação em condensadores (como veremos) no segundo. Deve notar-se que, no segundo caso, há ainda a possibilidade de lançar o vapor numa atmosfera gasosa, sem ser condensado.

b) *Mecanismo da evaporação*

1) *Aquecimento por um gás através da superfície livre*

I) *Expressão geral*

Neste caso, não existe a parede de separação e, portanto, $L = 0$ (pág. 458) e

$$K_c = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{1}{h'_c}}$$

sendo h_c e h'_c os coeficientes de transmissão através dos filmes do gás e do líquido; se forem θ, θ' e θ_i as temperaturas do gás, do líquido e da superfície de separação, será

$$\frac{dQ}{dt} = h_c\,(\theta - \theta_i)\,dS = h'_c\,(\theta_i - \theta')\,dS = \\ = K_c\,(\theta - \theta')\,dS$$

No caso em que não é possível conhecer a superfície dS, exprime-se o seu valor em função de dV, como se sabe [1] ($dS = a\,dV$) e, portanto,

$$\frac{dQ}{dt} = h_c\,a\,(\theta - \theta)\,dV = h'_c\,a\,(\theta_i - \theta')\,dV = \\ = K_c\,a\,(\theta - \theta')\,dV$$

II) *Evaporação adiabática*

Em geral, o calor é fornecido exclusivamente pelo gás de aquecimento e, portanto, a vaporização pode considerar-se como sendo adiabática (pág. 408). Seja θ'_0 a temperatura inicial do gás de aquecimento

[1] «Extracção», Técnica, n.º 184, pág. 1013.

e s_r a sua saturação relativa (ou humidade relativa H_r no caso do vapor de água); a estes valores corresponde uma temperatura θ_{oh} do termómetro húmido (sendo θ_o a temperatura do termómetro seco).

Se a temperatura inicial do líquido θ'_o fosse igual a θ_{oh}, a vaporização efectuar-se-ia, como se viu, mantendo o líquido esta temperatura e baixando a temperatura do gás desde θ_o a θ_{oh}; mas, em geral, $\theta'_o < \theta_{oh}$ e, portanto, a massa do líquido vai sendo aquecida até atingir a temperatura θ_{fh} do termómetro húmido que passa em geral, a ser diferente de θ_{oh} visto que a temperatura do gás vai diminuindo, devido ao calor que fornece para o aquecimento do líquido. Em cada instante, a temperatura do termómetro húmido terá um valor θ_h que corresponde a θ_i das expressões anteriores e, portanto,

$$h_c(\theta - \theta_h) = h'_c(\theta_h - \theta')$$

ou

$$\theta_h = \frac{h_c\,\theta + h'_c\,\theta'}{h_c + h'_c} \quad ,$$

ou ainda,

$$\theta - \theta_h = \frac{h'_c}{h_c + h'_c}(\theta - \theta')$$

$$\theta_h - \theta' = \frac{h_c}{h_c + h'_c}(\theta - \theta')$$

Na difusão do vapor formado através dos filmes, há que ter em conta sòmente o filme gasoso, visto que, no líquido, não há diferenças de concentração; representando por $\frac{dq}{dt}$ a massa de vapor formada na unidade de tempo, será, como se sabe [1],

$$\frac{dq}{dt} = h_g\,a\,(p_h - p)\,dV \quad ,$$

sendo $h_g a$ o coeficiente de progressão através da fase gasosa e p_h a tensão de vapor correspondente à saturação à temperatura θ_h e p a pressão de vapor existente no gás. É mais cómodo exprimir o valor das tensões em função das saturações absolutas s (ou humidades absolutas H, no caso do vapor de água), expressas em massa (ou peso) de vapor por unidade de massa (ou peso) de gás; utilizando o valor n do número de moléculas de vapor por molécula de gás (pág. 404), ter-se-á

$$s = \frac{M_v}{M_g} \cdot n = \frac{M_v}{M_g} \cdot \frac{p}{P - p} \quad ,$$

representando por M_v e M_g as respectivas massas moleculares.

Tirando o valor de p, obtém-se

$$p = \frac{P\,M_g}{M_v + s\,M_g} \cdot s$$

Como, em geral, s é pequeno, o termo $s\,M_g$ é desprezível em relação a M_v e, portanto,

$$p = \frac{P\,M_g}{M_v} \cdot s$$

Substituindo, vem

$$\frac{dq}{dt} = h_g\,a\,\frac{P\,M_g}{M_v}(s_h - s)\,dV \quad ,$$

sendo s_h a saturação correspondente a p_h.

Fazendo $h_g\,a\,\frac{M_g}{M_v} = h'_g\,a$ e considerando o volume total V será

$$\frac{dq}{dt} = P\,h'_g\,a\,(s_h - s)\,V$$

A quantidade de calor $\frac{dQ}{dt}$ necessária para a formação deste vapor será $\frac{dQ}{dt} =$

$$= \left[\lambda_h + C_l(\theta_h - \theta') + C_v(\theta - \theta_h)\right]\frac{dq}{dt} \quad ,$$

sendo λ_h o calor de vaporização à temperatura θ_h e C_l e C_v o calor específico do líquido e do vapor (no caso do vapor de água $C_v = 0{,}45$).

Por outro lado, se for m a massa do gás de aquecimento, a quantidade elementar de calor cedida para a vaporização do líquido será

$$dQ = m\,[\lambda_h + C_l\,(\theta_h - \theta') + C_v\,(\theta - \theta_h)]\,ds$$

[1] «Extracção», «Técnica», n.º 185, pág. 1065.

Logo,

$$\frac{dQ}{dt} = m\left[\lambda_h + C_l(\theta_h - \theta') + C_v(\theta - \theta_h)\right]\frac{ds}{dt}$$

Igualando as expressões de $\frac{dQ}{dt}$, ter-se-á

$$m\frac{ds}{dt} = Ph'_g\, a\,(s_h - s)\,V$$

ou

$$\frac{ds}{s_h - s} = \frac{Ph'_g\, a\, V}{m}\,dt$$

Portanto,

$$t = \frac{m}{Ph'_g\, a\, V}\int_{s_o}^{s_f}\frac{ds}{s_h - s}$$

sendo s_o e s_f as saturações inicial e final.

A resolução do problema exige o conhede $h'_g a$ e de s_h.

α — Valor de $h'_g a$

O valor de h'_g calcula-se como foi indicado no estudo da «Extracção» (1), pela expressão

$$h'_g = \frac{h_c}{C_h}$$

sendo C_h o calor específico do gás húmido, isto é, contendo uma certa quantidade de vapor. O valor de C_h será $C_h = C_g + s\,C_v$ sendo C_g e C_v os calores específicos do gás e do vapor (no caso do vapor de água será $C_h = C_g + 0{,}45\,H$; se o gás for o ar ter-se-á $C_h = 0{,}24 + 0{,}45\,H$).

O valor de $h_c a$ não pode ser determinado rigorosamente: na prática, o seu valor varia em geral, entre 500 e 1500 $gc\,.\,m^{-3}\,grau^{-1}\,.\,hora^{-1}$.

β — Valor de s_h

O valor de s_h depende da temperatura θ_h e esta é função de θ. Para determinar a forma desta função basta calcular a quantidade de calor a ceder pelo ar para obter a saturação s_h; será

$$C_h\, d\theta = -\lambda_h\, ds$$

Admitindo que C_h e λ_h são constantes, será

$$C_h(\theta - \theta_h) = \lambda_h(s_h - s_o),$$

e

$$s_h = s_o + \frac{C_h(\theta - \theta_h)}{\lambda_h}$$

O valor de θ_h varia relativamente pouco quando θ diminui desde θ_o a θ_h; por isso, s_h é quase linear em θ pelo que, em primeira aproximação, se pode utilizar o seu valor médio quando θ varia entre θ_o, e $\theta_h \sim \theta_{oh}$. O valor de θ_h determina-se em função de θ_o por meio de gráficos ou tabelas. (O gráfico a utilizar pode ser o que vem publicado em aditamento, no livro «Principles of Chemical Engineering» de Walker, Lewis, Mc Adams e Gilliland).

Integrando a equação que dá o valor de t, para um valor médio de s_h, ter-se-á

$$t = -\frac{m}{Ph'_g\, a\, V}\log\frac{s_h - s}{s_h - s_o}, \text{ ou}$$

$$s = s_h - (s_h - s_o)\,e^{-\frac{Ph'_g\, a\, V}{m}t}, \text{ ou ainda}$$

$$t = \frac{m}{Ph'_g\, a\, V}\log\frac{s_h - s_o}{s_h - s_f} \quad (1)$$

(Desta expressão conclui-se que para $s = s_h$, $t = \infty$)

(1) «Técnica», n.º 184, pág. 1011.

(1) Consideremos a evaporação de água por meio de 100 kg de ar em circulação uma caixa de evaporação de $V = 0{,}1\ m^3$. Seja $\theta_o = 80°\ C$, $H_r = 10\ \%$ e $P = 1$ atmosfera.

A tensão do vapor de água no ar a 80° C é $p = 355{,}1$ mm de Hg e, portanto, $p_a = 35{,}51$ mm de Hg. Como as massas moleculares do vapor de água e do ar são $M_v = 18$ e $M_g = 29$, sera

$$s_o = H_o = \frac{18}{29} \times \frac{35{,}51}{724{,}49} = 0{,}0305$$

O valor θ_{oh} correspondente a $\theta_o = 80$ é $\theta_{oh} = 40°$. Por outro lado,

$$C_h = 0{,}24 + 0{,}45\,H = 0{,}25 + 0{,}45 \times 0{,}0305 = 0{,}254$$

e $$\lambda_h = 606{,}5 - 0{,}695\,\theta_{oh} = 606{,}5 - 0{,}695 \times 40 = 579\ gc\ kg^{-1}$$

Conhecido o valor de t para atingir a saturação s_f há que calcular quais os valores de θ e θ', no fim desse tempo.

A quantidade de calor $\frac{dQ_g}{dt}$ cedida pelo gás é, como vimos,

$$\frac{dQg}{dt} = h_c\, a\, (\theta - \theta_h)\, V$$

A quantidade que vai ser utilizada no aquecimento do líquido $\frac{dQ_l}{dt}$ será a diferença entre este valor e o que é necessário para a evaporação, ou seja

$$\frac{dQ_l}{dt} = \frac{dQ_g}{dt} - \frac{dQ}{dt}$$

Mas

$$\frac{dQ}{dt} = Ph'_g\, a\, V\, [\lambda_h + C_l\, (\theta_h - \theta') + C_v\, (\theta - \theta_h)]\, (s_h - s) = Ph'_g\, a\, V\, [\lambda_h + C_l\, (\theta_h - \theta') + C_v\, (\theta - \theta_h)]\, (s_h - s_o)\, e^{-\frac{Ph'g\, a\, V}{m} t}$$

Portanto,

$$\frac{dQ_l}{dt} = h_c a\, (\theta - \theta_h)\, V - Ph'_g\, aV\, [\lambda_h + C_l\, (\theta_h - \theta') + C_v\, (\theta - \theta_h)]\, (s_h - s_o)\, e^{-\frac{Ph'g\, a\, V}{m} t}$$

Para $\theta = 80^o$, será

$$s_h = 0{,}0305 + \frac{0{,}254 \times 40}{579} = 0{,}0305 + 0{,}0175 = 0{,}048$$

Para $\theta = \theta_h = \theta_{oh} = 40^o$, vem

$$s_h = 0{,}0305$$

O valor médio de s_h será

$$s_h = 0{,}039$$

O coeficiente de progressão será, tomando o valor $h_c\, a = 1000$ gc. m^{-3} grau^{-1}. hora^{-1}

$$h'_g\, a = \frac{h_c\, a}{C_h} = \frac{1000}{0{,}254} \sim 4000 \text{ kg m}^{-3} \text{ hora}^{-1} \text{ atm}^{-1}$$

Supondo que se pretende atingir $s_f = 0{,}038$, será

$$t = \frac{100}{4000 \times 0{,}1} \log \frac{0{,}039 - 0{,}0305}{0{,}039 - 0{,}038} = 0{,}25 \log 8{,}5 = 0{,}53 \text{ horas} = 32 \text{ minutos}.$$

As quantidades elementares de calor cedida pelo gás e recebida pelo líquido são respectivamente

$$dQ_g = -m\, C_h\, d\theta$$
$$dQ_l = m'\, C_l\, d\theta'$$

sendo m' a massa do líquido.

Na unidade de tempo, será

$$\frac{dQ_g}{dt} = -m\, C_h \frac{d\theta}{dt}$$

$$\frac{dQ_l}{dt} = m'\, C_l \frac{d\theta'}{dt}$$

Igualando os valores de $\frac{dQ_g}{dt}$, vem

$$m\, C_h \frac{d\theta}{dt} = h_c\, a\, (\theta - \theta_h)\, V,$$

ou

$$\int_{\theta_o}^{\theta_f} \frac{d\theta}{\theta - \theta_h} = -\frac{h_c\, a\, V}{mC_h}\, t$$

Admitindo que $\theta_h = \theta_{oh}$ = constante, vem

$$\log \frac{\theta_f - \theta_{oh}}{\theta_o - \theta_{oh}} = -\frac{h_c\, a\, V}{m\, C_h}\, t$$

(Pode fazer-se uma integração mais rigorosa, gràficamente, calculando os diversos valores de θ_h em função de θ) (1)

Desta expressão tira-se

$$\theta_f = \theta_{oh} + (\theta_o - \theta_{oh})\, e^{-\frac{h_c\, aV}{mCh} t} \quad (2)$$

Igualando os valores de $\frac{dQ_l}{dt}$ e substituindo $(\theta - \theta_h)$ em função de $\theta_h - \theta'$, isto é,

$$\theta - \theta_h = \frac{h'_c a}{h_c a} (\theta_h - \theta'),$$

---

(1) Ver artigo sobre «Extracção», *Técnica* n.º 184, pág. 1019 e seguintes.

(2) No exemplo considerado, tem-se, para $h_c a = 1000$ gc. m^{-3} grau^{-1} hora^{-1} e $t = 0{,}53$ horas,

$$\theta_f = 40 + 40\, e^{-\frac{1000 \times 0{,}1 \times 0{,}53}{100 \times 0{,}254}} = 45^o$$

ter-se-á

$$m'C_l \frac{d\theta'}{dt} = h'_c a\,(\theta_h - \theta')\,V - Ph'_g\,a\,V \left[\lambda_h + C_l\,(\theta_h - \theta') + C_v \frac{h'_c a}{h_c a}\,(\theta_h - \theta') \right] \times (s_h - s_o)\, e^{-\frac{Ph'_g\,a\,V}{m}\,t}$$

Fazendo

$$h'_c a V - Ph'_g\,a\,V \left(C_l + C_v \frac{h'_c\,a}{h_c a} \right) (s_h - s_o)\, e^{-\frac{Ph'_g\,a\,V}{m}\,t} = A\,,$$

$$Ph'_g\,a\,V\,\lambda_h\,(s_h - s_o)\, e^{-\frac{Ph'_g\,a\,V}{m}\,t} = B$$

e integrando, tem-se

$$\int_{\theta'_o}^{\theta'_f} \frac{d\theta'}{A\,(\theta_h - \theta') - B} = \frac{t}{m'C_l}$$

Admitindo, ainda que $\theta_h = \theta_{oh}$ = constante será

$$-\frac{1}{A} \log \frac{A\,(\theta_h - \theta'_f) - B}{A\,(\theta_h - \theta'_o) - B} = \frac{t}{m'\,C_l}\,, \text{ ou}$$

$$\theta'f = \frac{1}{A} \left[A\,\theta_h - B - (A\,\theta_h - A\,\theta'_o - B)\, e^{-\frac{A\,t}{m'C_l}} \right]$$

O valor de $h'_c a$ pode tomar-se igual a $h_c\,a$, por falta de dados, o que aliás, é legítimo a partir das expressões que dão h_c e h'_c (1).

(1) Consideremos ainda o exemplo anterior e seja $\theta'_o = 15°$ e o peso de água 30 kg.

$$A = 1000 \times 0{,}1 - 4000 \times 0{,}1\,(1 + 0{,}45)\,(0{,}039 - 0{,}0305)\, e^{-\frac{4000 \times 0{,}1}{100} \times 0{,}53} = 100 - 0{,}6 \sim 100 \text{ gc. hor}^{-1} \text{ grau}^{-1}.$$

$$B = 4000 \times 0{,}1 \times 579\,(0{,}039 - 0{,}0305)\, e^{-2{,}12} = 236 \text{ gc. hora}^{-1}$$

$$\theta'f = \frac{1}{100} \left[4000 - 236 - (4000 - 1500 - 236)\, e^{-\frac{100 \times 6{,}53}{30}} \right] = 33{,}7°$$

Os cálculos feitos devem ser repetidos, corrigindo o valor de s_h, a partir da temperatura θ_f. Os valores que se acharam têm de ser verificados fazendo o balanço das quantidades de calor cedida pelo gás e recebida pelo líquido para vaporização e aquecimento; se estas quantidades de calor não forem iguais, deverá alterar-se o valor de $h_c\,a$, o que, na prática, é sempre possível, modificando as condições de agitação.

A quantidade q_l de líquido evaporado será

$$q_l = m\,(s_f - s_o)\ (1)$$

(1) Consideremos o exemplo anterior.

Como vimos, a 80°, $s_h = 0{,}048$; a 45°, será $\theta_h = 34{,}5°$ e $\lambda_h = 606{,}5 - 0{,}695 \times 34{,}5 = 582{,}5$ gc . kg^{-1}.

Portanto

$$s_h = 0{,}0305 + \frac{0{,}254 \times 11{,}5}{582{,}5} = 0{,}0355$$

Valor médio:

$$s_h = 0{,}042$$

Logo,

$$t = \frac{100}{4000 \times 0{,}1} \log \frac{0{,}042 - 0{,}0305}{0{,}042 - 0{,}038} = 0{,}25 \log 2{,}88 = 0{,}265 \text{ horas} = 16 \text{ minutos}$$

A temperatura final será

$$\theta_f = 40 + 40\ e^{-\frac{1000 \times 0{,}1 \times 0{,}265}{100 \times 0{,}254}} = 54°$$

Tomando $\theta_f = 60°$, ter-se-á $\theta_h = 37°$, $\lambda_h = 581$ gc. kg^{-1}, $s_h = 0{,}0405$, o valor médio $s_h = 0{,}0445$, $t = 0{,}19$ horas (11,4 minutos) e $\theta_f = 59° \sim 60°$. (Concorda com o valor arbitrado).

Por outro lado,

$$A \sim 100 \text{ gc hora}^{-1} \text{ grau}^{-1}$$

$$B = 4000 \times 0{,}1 \times \frac{579 + 581}{2} \left(0{,}0445 - 0{,}0305 \right) e^{-0{,}76} = 1520 \text{ gc. hora}^{-1} \text{ grau}^{-1}$$

$$\theta'_f = \frac{1}{100} \left[4000 - 1520 - \left(4000 - 1500 - 1520 \right) e^{-\frac{100 \times 0{,}19}{30}} \right] = 19{,}6°$$

Balanço das quantidades de calor.

Cedido pelo gás:

$$Q_g = m\ C_h\,(\theta_o - \theta_f) = 100 \times 0{,}254 \times 20 = 508 \text{ calorias}$$

III) *Evaporação contínua*

O problema da evaporação contínua resolve-se conjugando o estudo que se fez anteriormente com os conhecimentos sobre extracção contínua, já tratados na «Técnica» n.º 186, pág. 45.

Sejam G e L os caudais em massa do gás e do líquido. A quantidade de calor cedida pelo gás na unidade de tempo é

$$\frac{dQ}{dt} = -C_h G \, d\theta = h_c a (\theta - \theta_h) \, dV$$

Integrando, vem

$$-\int_{\theta_o}^{\theta_f} \frac{d\theta}{\theta - \theta_h} = \frac{h_c a}{C_h G} \int_V dV$$

Admitindo que $\theta_h = \theta_{oh} =$ constante, vem

$$\log \frac{\theta_f - \theta_h}{\theta_o - \theta_h} = -\frac{h_c a}{C_h G} V$$

Representando por S a secção de passagem, por H o comprimento, por U_g a velocidade de passagem e por ρ_g a massa específica, vem

$$S = \frac{G}{U_g \rho_g}$$

e

$$V = SH = \frac{G H}{U_g \rho_g}$$

Substituindo, vem

$$\log \frac{\theta_f - \theta_h}{\theta_o - \theta_h} = -\frac{h_c a H}{C_g U_g \rho_g} = -\frac{h_c a}{C_h \rho_g} \cdot t ,$$

sendo t o tempo de passagem; portanto

$$\theta_f = \theta_h + (\theta_o - \theta_h) \, e^{-\frac{h_c a V}{C_h G}} =$$

$$= \theta_h + (\theta_o - \theta_h) \, e^{-\frac{h_c a}{C_h \rho_g} t}$$

Substituindo o valor de t na expressão de s,

$$s_f = s_h - (s_h - s_o) \, e^{-\frac{Ph'_g a V}{m} t}$$

ter-se-á, atendendo a que a quantidade de gás que passa na unidade de tempo é $m = C t$, é

$$s_f = s_h - (s_h - s_o) \, e^{-\frac{Ph'_g a V}{G}}$$

Para calcular a temperatura atingida pelo líquido, procede-se como no caso da evaporação descontínua, notando que a quantidade de líquido a aquecer durante o tempo t é $m' = L t$. Substituindo m' pelo seu valor, ter-se-á

$$A = h'_c a V - Ph'_g a V \left(C_l + C_v \frac{h'_c a}{h_c a} \right) \times$$

$$\times (s_h - s_o) \, e^{-\frac{Ph'_g a V}{G}}$$

$$B = Ph'_g a V \lambda_h (s_h - s_o) \, e^{-\frac{Ph'_g a V}{G}}$$

$$\theta'_f = \frac{1}{A} \left[A \theta_h - B - (A \theta_h - A \theta'_o - B) \, e^{-\frac{A}{L C_l}} \right].$$

A quantidade de líquido evaporado será como anteriormente

$$q_l = G (s_f - s_o) \, (^1)$$

Empregado na vaporização:

$$Q = m \, [\lambda_h + C_l (\theta_h - \theta'_o) + C_v (\theta_f - \theta_h)] \, (s_f - s_o) =$$

$$= 100 \left[580 + \left(\frac{40 + 37}{2} - 15 \right) + 0{,}45 \left(60 - \frac{40 + 37}{2} \right) \right] \times$$

$$\times 0{,}0075 = 4740 \text{ calorias}$$

Utilizadas no aquecimento:

$$Q_l = m' C_l (\theta'_f - \theta_o) = 30 \, (19{,}6 - 15) = 138 \text{ calorias}$$

A quantidade de calor absorvida pelo líquido é de 608 calorias o que excede em 100 calorias a quantidade cedida pelo gás. Para resolver o problema basta repetir o cálculo com um valor de $h_c a$ ligeiramente superior (por exemplo, $h_c a = 1200$ gc . m^{-3} hora^{-1} grau^{-1}).

$$q_l = m (s_f - s_o) = 100 \times 0{,}0075 = 0{,}75 \text{ kg.}$$

(1) Consideremos, por exemplo, a vaporização de agua por ar, sendo $\theta'_o = 20°$, $\theta_o = 200°$, $s_o = H_o = 0$, $S = 1$ m^2, $H = 10$ m, $G = 15.000$ kg/hora e $L = 1.500$ kg/hora.

O valor de θ_h obtido por extrapolação no gráfico da humidade é $\theta_h = 48°$.

Tomando $h_c = 1000$ gc . m^{-3} . hora^{-1} . grau^{-1} e $V = S H = 10$ m^3, será

IV) *Aparelhagem*

A aparelhagem utilizada tem por objectivo realizar uma superfície de separação tão grande quanto possível entre o líquido e o gás, o que se consegue por três processos: com o líquido e o gás em repouso mas com uma grande superfície de separação, por subdivisão do líquido e por subdivisão do gás.

α — Gás e líquido em repouso

Em geral, o processo emprega-se expondo o líquido ao ar atmosférico (por exemplo nas salinas). Neste caso, o líquido encontra-se à temperatura do termómetro húmido, a transmissão do calor faz-se por convecção natural através do ar (e, portanto, o valor de h_c é dado pela expressão já indicada na pág. 468), o valor de S é o da superfície livre do líquido, s_h tem um valor constante correspondente a θ_h e s_f é a saturação correspondente à humidade relativa do ar que se pode considerar como constante durante um largo período de tempo.

β — Subdivisão do líquido

β_1 — Empilhamentos

O mecanismo da evaporação é análogo ao anterior mas o líquido em vez de estar imóvel é obrigado a correr sobre

---

$$\theta_f = \theta_h + (\theta_o - \theta_h)\, e^{-\frac{h_c\, a\, V}{C_h\, G}} = 48 + 152\, e^{-2,98} = 48 + 8 = 50^\circ$$

O valor de θ_h correspondente a 50° é $\theta_h = 21^\circ$; tomando o valor médio, fica $\theta_h = \frac{48+21}{2} = 43,5^\circ$ e

$$\theta_f = 48 + 165,5\, e^{-2,98} = 48 + 9 = 51^\circ$$

Os valores de s_h serão

$$s_h = H_f = H_o + \frac{C_h\,(\theta - \theta_h)}{\lambda_h}$$

Para

$$\theta = 200^\circ \text{ e } \theta_h = 48^\circ$$

será

$$\lambda_h = 606,5 - 0,695 \times 48 = 573 \text{ gc. kg}^{-1}$$

e

$$H_h = \frac{0,24 \times 152}{573} = 0,064$$

Para

$$\theta = 51^\circ \text{ e } \theta_h = 21^\circ$$

vem

$$\lambda_h = 606,5 - 0,695 \times 21 = 592 \text{ gc kg}^{-1}$$

e

$$H_h = \frac{0,24 \times 30}{584} = 0,012$$

Valores médios:

$$\lambda_h = 582 \quad \text{e} \quad H_h = 0,038$$

Humidade final:

$$H_f = H_h - H_h\, e^{-\frac{P h'_g\, a\, V}{G}}$$

Tomando

$$h'_g\, a = 4000 \text{ kg m}^{-3} \text{ hora}^{-1} \text{ atm}^{-1},$$

vem

$$H_f = 0,038\left(1 - e^{-2,65}\right) = 0,038 \times 0,927 = 0,035$$

Tomando

$$h'_c\, a = 1000 \text{ gc m}^{-3} \text{ grau}^{-1} \text{ hora}^{-1}$$

vem

$$A \sim 10000 \text{ gc. grau}^{-1} \text{ . hora}^{-1},$$

$$B = 4000 \times 10 \times 588 \times 0,038 \times e^{-2,65} = 65.000 \text{ gc . hora}^{-1}$$

$$\theta'_f = \frac{1}{10000}\left[400.000 - 65.000 - (400.000 - 200.000 - 65.000)\, e^{-6,7}\right] = 33,5^\circ$$

Verificação das quantidades de calor:

Cedida pelo gás:

$$15.000 \times 0,24 \times 49 = 535.000 \text{ calorias}$$

Utilizado na vaporização:

$$15.000\,[582 + (34,5 - 33,5) + 0,45\,(51 - 34,5)] \times 0,035 = 310.000 \text{ calorias}$$

Utilizado no aquecimento:

$$1.500\,(33,5 - 20) = 20.500 \text{ calorias}$$

A quantidade de calor fornecida é superior à necessária em 204.500 calorias.

Repetindo os cálculos com um valor de h_c a inferior ($h_c\, a = 600$ gc. m^{-3} grau^{-1} . hora^{-1}), vem

$\theta_f = 78^\circ$, θ_h correspondente a θ_f é $\theta_h = 27^\circ$ e o valor médio de θ_h será $\theta_h = 37,5^\circ$; portanto $\theta_f = 81,5^\circ$.

Valores de λ_h e H_h: Para $\theta = 200^\circ$ e $\theta_h = 48^\circ$, vem $H_h = 0,064$; para $\theta = 81^\circ,5$ e $\theta_h = 27^\circ$, $\lambda_h = 588$ e $H_h = 0,022$; valores médios: $\lambda_h = 580$ e $H_h = 0,043$.

Humidade final (para $h'_g\, a = 2.400$ kgm^{-3} hora^{-1} atm^{-1})

$$H_f = H_h - H_h\, e^{-1,66} = 0,034$$

Tomando $h'_c\, a = 1.000$ gc, vem

$$A = 10.000 \text{ gc grau}^{-1} \text{ hora}^{-1}$$

um empilhamento de madeira. Neste caso a superfície S tem de ser substituída por aV.

β_2 — *Agitação do líquido*

Obtém-se fazendo circular o líquido e o gás em contra-corrente num recipiente cilíndrico de eixo horizontal. A água é agitada e reduzida a pequenas gotas por meio de discos montados num veio coincidente com o eixo do cilindro.

β_3 — *Pulverização do líquido*

O líquido finamente pulverizado é lançado na massa do gás, que circula em contra-corrente.

β_4 — *Torres de evaporação*

O líquido e o gás circulam em contra-corrente numa torre com enchimento. A este sistema pertence a torre de Glover e o concentrador de ácido sulfúrico de tipo Gilchrist.

γ — *Subdivisão do gás*

Obtém-se fazendo borbulhar o gás na massa do líquido. O sistema é constituído por caixas horizontais de secção rectangular sendo o gás introduzido por tubos colocados ao longo da caixa. Este sistema é usado para a concentração de ácido fosfórico pelo processo Nordengren.

$B = 94.000$ gc hora^{-1}
$\theta'f = 28°$

Quantidades de calor :

Cedido pelo gás :
$15.000 \times 0,24 \times 118,5 = 425.000$ calorias

Utilizado na vaporização :
$15.000\ [580 + 9,5 + 0,45 \times 41] \times 0,034 = 310.000$ calorias

Utilizado no aquecimento :
$1.500 \times 18 = 12.000$ calorias

As quantidades de calor já estão equilibradas, ficando cerca de 100.000 calorias para as perdas.

Quantidade de água evaporada :
$q_1 = 15.000 \times 0,034 = 510$ kg/hora.

2) *Evaporação com parede de separação*

I) *Coeficientes de transmissão*

Como vimos (pág. 458), a quantidade de calor transmitida na unidade de tempo é

$$\frac{d\theta}{dt} = K_c(\theta_1 - \theta_2)\,dS,$$

sendo

$$K_c = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h'_c}}$$

α — *Coeficiente de condução k da parede*

Em geral, o termo $\frac{L}{k}$ é pequeno em relação aos termos $\frac{1}{h_c}$ e $\frac{1}{h'_c}$; por isso, o material de que é construída a parede tem relativamente pouca importância a não ser quando a condutividade k é muito pequena (por exemplo, ferro esmaltado) ou a espessura L é muito grande. Nestas condições, é pràticamente indiferente construir as paredes em cobre ou ferro embora a condutividade do cobre seja aproximadamente 9 vezes superior.

β — *Coeficiente h_c*

Representando por h_c o coeficiente transmissão no filme do fluido de aquecimento, há que considerar o seu valor de acordo com o sistema de aquecimento que, em geral, se faz por gases quentes, por óleo, por vapor (água, Dowtherm ou mercúrio) ou elèctricamente.

β_1 — *Aquecimento por gases quentes*

Faz-se por aquecimento directo com gases de combustão. Deve notar-se que os gases só devem ficar em contacto com a parede, depois de combustão completa, a fim de evitar a diminuição da velocidade de combustão devido ao arrefecimento provocado pelas paredes frias.

O valor de h_c pode ser calculado pela expressão habitual (pág. 459). Em geral, este valor é muito inferior a $\frac{k}{L}$ e h'_c e, por isso, não há grande interesse em diminuir

h'_c por meio de agitação do líquido a evaporar. No entanto, a agitação deve fazer-se a fim de evitar pontos de sobreaquecimento.

Este sistema pode aplicar-se a panelas de aquecimento ou a tubos, como no caso das caldeiras.

β_2 — *Aquecimento por óleo*

Em geral, emprega-se para líquidos contidos em recipientes com dupla parede na qual o óleo circula; este óleo é aquecido por aquecimento directo num sistema de tubagem análoga ao das caldeiras de vapor.

O valor de h_c calcula-se pela expressão habitual (págs. 459 e 469).

β_3 — *Aquecimento por vapor (de água, Dowtherm ou mercúrio)*

Neste caso, como vimos, o coeficiente h_c depende do tipo de condensação (pág. 469). Se a condensação se efectua com formação de gotas, o valor de h_c é desprezível; se há a formação de um filme líquido, o valor de h_c calcula-se pela expressão que se indicou; desta expressão, conclui-se que h_c é tanto maior quanto maior for a condutividade k do líquido condensado. Sob este aspecto o mercúrio tem vantagens porque a sua condutividade tem o valor $k = 7{,}2$ gc . m^{-1} . grau^{-1} . hora^{-1}, mas não é possível aplicá-lo em grandes quantidades; quanto ao vapor de água, tem vantagem sobre os líquidos orgânicos porque o seu valor de k é $k = 0{,}49$ gc . m^{-1} . grau^{-1} . hora^{-1}, ao passo que para os líquidos orgânicos o valor é da ordem de grandeza de 0,13 gc . m^{-1} . grau^{-1} . hora^{-1}.

β_4 — *Aquecimento eléctrico*

Não há que contar com o coeficiente h_c.

γ — *Coeficiente h'_c*

O coeficiente h'_c depende da maneira como se efectua o movimento do líquido, que pode ser por convecção natural ou forçada; no caso de recipientes de dupla parede, a convecção forçada obtém-se por agitadores e no caso de tubos, em géral, por circulação do líquido por meio de uma bomba, embora também possa ser por agitação.

γ_1 — *Convecção natural*

Em geral, não há possibilidade de determinar h'_c com rigor; em primeira aproximação, no entanto, pode utilizar-se a expressão já estudada (pág. 459).

Deve notar-se que, em geral, o valor achado diminui devido à formação de incrustações junto às paredes, através das quais a transmissão do calor se efectua por condução.

γ_2 — *Convecção por agitação*

O valor de h'_c é aproximadamente da forma já indicada (pág. 459), substituindo o número de Reynolds pelo número de Reynolds modificado, que, como se viu no estudo da mistura [1] é $N = \frac{\rho L^2 n}{\mu}$, sendo ρ a massa específica do líquido, μ a sua viscosidade, L o comprimento das pás do agitador e n o número de rotações. As expressões usuais são as seguintes: [2]

Dupla parede:

$$h'_c = 0{,}36 \frac{k}{d} \left(\frac{\rho L^2 n}{\mu}\right)^{2/3} \left(\frac{C\mu}{k}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_p}\right)^{0{,}14}$$

Tubos:

$$h'_c = 0{,}87 \frac{k}{d} \left(\frac{\rho L^2 n}{\mu}\right)^{0{,}62} \left(\frac{C\mu}{k}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_p}\right)^{0{,}14}$$

sendo μ_p a viscosidade junto à parede de aquecimento.

γ — *Convecção por circulação*

Neste caso, embora sem rigor, podem aplicar-se as expressões conhecidas.

---

(1) «Técnica», n.º 189, pág. 890.

(2) Sobre este assunto pode consultar-se o artigo «Mas and Heat Transfer in Agitador Systems», por D. E. Mack e V. W. Uhl («Chemical Engineering», Outubro de 1947, pág. 115).

II) *Trocas caloríficas*

A evaporação efectua-se num recipiente aquecido por qualquer dos processos já indicados. Vamos considerar o caso mais geral de se utilizar um fluido condensável para o aquecimento (se não for, os resultados mantêm-se desde que não se entre em linha de conta com o calor de vaporização e se tomem valores iguais para os calores específicos no estado líquido e vapor).

A entrada do líquido a evaporar e do fluido de aquecimento fazem-se contìnuamente; o líquido concentrado resultante da vaporização é retirado contínua ou descontìnuamente, mas de modo tal que o seu nível no recipiente seja constante. Nestas condições, o problema estuda-se sempre, considerando a evaporação como contínua com caudais em massa L e L′ respectivamente do fluido de aquecimento e do líquido, nas canalizações de entrada.

Como a quantidade de líquido se mantém constante, pode admitir-se que, embora as temperaturas de ebulição e os calores específicos variem com a concentração do líquido, as trocas caloríficas são aproximadamente constantes, pelo que as temperaturas iniciais, finais e de vaporização (θ_o, θ_f e θ_e do fluido de aquecimento e θ'_o, θ'_f e θ'_e do líquido) se podem considerar constantes. Por outro lado, como o vapor do líquido evaporado é retirado contìnuamente, não sofre pràticamente, nenhum sobreaquecimento e, por isso, $\theta'_f = \theta'_e$.

Igualando as quantidades de calor cedida e recebida, ter-se-á

$$L\,[C_v(\theta_o - \theta_e) + \lambda_e + C_l(\theta_e - \theta_f)] = \\ = L'\,[C'_l(\theta'_e - \theta'_o) + \alpha\lambda'_e]\,,$$

sendo C_v, C_l e C'_l os calores específicos, λ_e e λ'_e, os calores de vaporização e α a fracção do líquido que se vaporiza.

Por outro lado,

$$\frac{dQ}{dt} = K_c\,(\theta - \theta')\,dS$$

Considerando a superfície total de aquecimento, será

$$\frac{dQ}{dt} = K_c\,(\theta - \theta')\,S\,.$$

Os valores de θ e θ' variam com o tempo; no entanto, na prática, atendendo a que os calores de vaporização são muito superiores aos de aquecimento e que K_c não pode ser determinado com grande rigor, é costume substituir θ e θ' por θ_e e θ'_e e portanto

$$\frac{dQ}{dt} = K_c\,(\theta_e - \theta'_e)\,S$$

A estes cálculos há a fazer as seguintes observações:

1) A temperatura θ'_e é a correspondente à parte inferior do líquido e, portanto, a uma pressão igual à existente no recipiente adicionada da que é devida à altura do líquido.

2) O calor específico C'_l da solução é aproximadamente igual a uma fracção do calor específico do dissolvente igual à sua fracção em massa.

3) O calor de vaporização da solução é sensìvelmente igual ao do líquido à temperatura θ'_e [1].

---

[1] Consideremos, por exemplo, a concentração de uma solução aquosa com 5 % de cloreto de sódio, até 30 %. Suponhamos que o vapor utilizado é vapor de água sobreaquecido a 150° e à pressão de 2 kg/cm² e que no recipiente de evaporação se faz um vácuo de 600 mm de Hg ou seja uma pressão de 160 mm de Hg. Suponhamos que o líquido ocupa uma altura de 1 m e que o caudal L′ é L′ = 20.000 kg/hora.

Seja $\theta_f = 80°$ $\theta'_o = 20°$ e $K_c = 2000$ gc. m^{-2} grau^{-1} hora^{-1}. Resta determinar o caudal L do vapor e a superfície S.

No instante inicial existem 95 kg de água por 5 kg de sólido ou seja $\frac{95}{5} = 19$ kg de água por kg de sólido e no instante final $\frac{70}{30} = 2{,}33$ kg de água por kg de sólido. A quantidade total a evaporar é $19 - 2{,}33 = 16{,}47$ kg por kg de sólido, ou seja $16{,}47 \times 20.000 \times 0{,}05 = 16.470$ kg;

III) *Aparelhagem utilizada*

A aparelhagem é constituída por cilindros metálicos em geral verticais, com capacidade suficiente para conterem o líquido a evaporar e a tubagem de aquecimento, que em geral, é constituída por tubos de 2 a 7 cm de diâmetro interior e de comprimentos variáveis entre 0,6 m a 6 m.

As dimensões do cilindro oscilam entre 1,5 m a 2,5 m de diâmetro e 2,5 a 6 m de altura.

Os tubos de aquecimento, em geral, são rectos e reunidos em feixes que se podem colocar vertical ou horizontalmente e que podem estar mergulhados no líquido (tipo submerso) ou receberem uma chuva do líquido (tipo de film). Em qualquer dos casos o fluido de aquecimento pode circular no interior ou no exterior dos tubos.

A tubagem de aquecimento pode ser ainda, em forma de serpentina.

Para mais detalhes sobre os vários tipos de evaporadores, podem consultar-se os livros «Elements of Chemical Engineering» de Badger e Mc Cabe, 2.ª edição, pág. 175 a 185 e «Principles of Chemical Engineering» de Walker, Lewis, Mc Adams e Gilliland, pág. 393 a 403.

IV) *Evaporação por múltiplo efeito*

Consideremos n evaporadores iguais (em geral $n = 3$), cada um dos quais constitui um andar (ou efeito) de um evaporador de múltiplo efeito. Como vimos, o vapor libertado em cada andar vai ser utilizado no aquecimento do líquido contido no andar seguinte; nestas condições, os tubos de vapor de cada andar estão em comunicação com a tubagem de saída do andar anterior.

Em princípio, o problema estuda-se como o de simples efeito, mas é necessário ter em consideração os seguintes pontos:

1) A temperatura θ_e é a temperatura de condensação do vapor no primeiro andar.
2) A temperatura θ'_e é a temperatura de ebulição do líquido no último andar, no qual a pressão é mínima.

---

o valor de α será $\frac{16.470}{20.000} = 0{,}8235$ e a quantidade de líquido concentrado $20.000 - 16.470 = 3.530$ kg.

Pelas tabelas de pontos de ebulição, determina-se $\theta_e = 119{,}6°$. Para determinar θ'_e, ter-se-á:

Pressão devida a 1 m de água: $\frac{1}{10{,}33} \times 760 = 74$ mm de Hg.

Pressão total no fundo do recipiente $160 + 74 = 234$ mm de kg.

Ponto de ebulição da água pura a 234 mm de Hg: 70°

Para determinar a temperatura de ebulição é necessário recorrer à lei de Raoult. Como a água é um composto polar esta lei não é rigorosamente válida: no entanto vamos aplicá-la em primeira aproximação. Como vimos, (pág. 405), a tensão do vapor da água com o sal em solução, no instante final, é

$$p'_{OH^2} = \frac{n_{OH^2}}{n_{OH^2} + n_{ClNa}} p_{OH^2} = \frac{\frac{70}{18}}{\frac{70}{18} + \frac{30}{58{,}5}} p_{OH^2} =$$

$$= \frac{3{,}88}{3{,}88 + 0{,}51} p_{OH^2} = 0{,}888\, p_{OH^2}$$

$$p_{OH^2} = \frac{p'_{OH^2}}{0{,}888} = \frac{234}{0{,}888} = 264 \text{ mm de Hg.}$$

A temperatura θ'_e será portanto $\theta'_e \sim 73°$

Calores de vaporização:

$$\lambda_e = 606{,}5 - 0{,}695 \times 119{,}6 = 523{,}5$$
$$\lambda'_e = 606{,}5 - 0{,}695 \times 73 = 555{,}7$$

Quantidade de vapor necessária (tomando $C_v = 0{,}45$):

$$L = \frac{L' [C'_l (\theta'_e - \theta'_o) + \alpha \lambda'_e]}{C_v (\theta_o - \theta_e) + \lambda_e + C_l (\theta_e - \theta_f)} =$$

$$= \frac{20.000 (0{,}95 \times 53 + 0{,}8235 \times 555{,}7)}{0{,}45 \times 30{,}4 + 523{,}5 + 39{,}6} =$$

$$= \frac{20.000 \times 507{,}3}{576{,}7} = 17.600 \text{ kg/hora}$$

Quantidade de calor transmitido:

$$\frac{dQ}{dt} = 20.000 \times 507{,}3 \sim 10.000.000 \text{ calorias / hora}$$

Snperfície de aquecimento:

$$S = \frac{\frac{dQ}{dt}}{K_c (\theta_e - \theta'_e)} = \frac{10.000.000}{2.000 \times 46{,}6} = 107{,}3 \text{ m}^2$$

3) O líquido a evaporar é lançado no primeiro andar ou no último passando sucessivamente aos outros andares.

4) Durante este percurso, o líquido vai-se concentrando e, portanto aumenta a sua viscosidade o que se traduz numa diminuição no valor do coeficiente K_c como sabemos.

5) Em primeira aproximação a quantidade de calor que o vapor de um dado andar pode fornecer ao andar seguinte é igual àquela que recebeu do vapor do andar anterior e, portanto, as quantidades de calores transmitidas nos diferentes andares são todas iguais.

6) A diferença de temperatura $\Delta\theta = \theta_e - \theta'_e$ é igual à soma das diferenças de temperatura em cada andar, isto é,

$$\Delta\theta = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 + \ldots + \Delta\theta_n .$$

7) Conhecendo os valores de K_c em cada andar, e atendendo a que as áreas de todos os andares são iguais, ter-se-á

$$K_{c_1}\,\Delta\theta_1 = K_{c_2}\,\Delta\theta_2 = \ldots = K_{c_n}\,\Delta\theta_n .$$

8) Dos dois pontos anteriores conclui-se que

$$K_{c_1}\,\Delta\theta_1 = K_{c_2}\,\Delta\theta_2 = \ldots = K_{c_n}\,\Delta\theta_n = \frac{\Delta\theta}{\dfrac{1}{K_{c_1}} + \dfrac{1}{K_{c_2}} + \ldots + \dfrac{1}{K_{c_n}}} .$$

Desta relação tiram-se os valores de $\Delta\theta_1$, $\Delta\theta_2 \ldots \Delta\theta_n$ e calculam-se os valores das temperaturas θ_1, $\theta_2 \ldots \theta_n$ à saída de cada andar:

$$\theta_1 = \theta_e - \Delta\theta_1$$
$$\theta_2 = \theta_1 - \Delta\theta_2$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$\theta_n = \theta_{n-1} - \Delta\theta_n = \theta'_e .$$

A partir das tabelas de tensões de vapor, determinam-se as pressões $p_1, p_2, \ldots p_{n-1}$ em cada andar, em função de $\theta_1, \theta_2 \ldots \theta_{n-1}$.

9) Como há que contar com os calores de aquecimento e com as variações no calor de vaporização, as relações do ponto 7) não são exactas. Por isso, é necessário corrigir os cálculos alterando os valores das diferenças $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2 \ldots \Delta\theta_n$, de modo que em cada andar seja evaporada uma quantidade de líquido tal que a sua soma seja igual à quantidade total a evaporar e satisfazendo à condição de serem iguais as áreas de todos os andares. O problema tem de ser resolvido por tentativas tomando como incógnitas o caudal em massa L do vapor e as quantidades $q_1, q_2 \ldots q_n$ evaporadas em cada andar tais que $q_1 + q_2 + \ldots + q_n = \alpha L'$.

A evaporação por múltiplo efeito tem a vantagem de exigir um consumo de vapor menor (em princípio, n vezes menor do que por simples efeito), mas tem o inconveniente de ser de instalação n vezes mais cara, visto que a quantidade evaporada na unidade de tempo é a mesma de um evaporador de simples efeito de dimensões iguais às de cada andar, desde que o coeficiente K_c seja igual ao valor médio de $K_{c_1}, K_{c_2} \ldots K_{c_n}$.

CAPÍTULO II

APARELHAGEM UTILIZADA NA SECAGEM

a) *Teoria*

1) *Generalidades*

Como vimos (pág. 399) a secagem consiste na difusão do líquido através do sólido a secar seguida da sua evaporação na superfície.

Se a difusão é mais rápida do que a evaporação, existe sempre na superfície do sólido uma certa quantidade de líquido a evaporar e, portanto, a secagem estuda-se como sendo uma simples evaporação; se a evaporação é mais rápida, a secagem é regulada pela difusão através do sólido e o problema tem de ser estudado de uma maneira diferente.

Estes dois casos dependem da saturação livre f [1] (ou humidade livre F no caso de água) do sólido expressa em massa (ou peso) de líquido por unidade de massa (ou peso) de sólido, dando-se o primeiro ou o segundo conforme f for superior ou inferior a uma certa saturação f_c que se designa por saturação crítica (ou, no caso da água, humidade crítica F_c).

Em geral a secagem efectua-se por meio de um gás quente que atravessa contìnuamente o secador em que está contida a substância a secar; nestas condições, a secagem pode ser considerada como adiabática. Por outro lado, como o gás tem uma circulação contínua, a sua temperatura e humidade, embora variáveis de ponto para ponto do secador são independentes do tempo, durante o período em que a secagem é regulada pela evaporação; por isso, este período tem o nome de *período de secagem a velocidade constante*. Quando se atingir a saturação crítica, a velocidade de difusão diminui com o tempo e a quantidade de líquido evaporado na unidade de tempo é cada vez menor; por este motivo, este período é designado por *período de secagem a velocidade decrescente*.

2) *O período de secagem a velocidade constante*

Como a evaporação se efectua sobre um filme líquido existente à superfície do sólido, pode admitir-se que a sua temperatura é constantemente igual à temperatura $\theta_h = \theta_{oh}$ do termómetro húmido correspondente à temperatura θ_o do gás e que se despreza o calor de aquecimento da água.

As expressões deduzidas para a evaporação contínua continuam a ser válidas, substituindo aV por S; portanto será

$$s_f = s_h - (s_h - s_o)\, e^{-\frac{Ph'_g S}{G}}$$

e

$$\theta_f = \theta_h - (\theta_h - \theta_o)\, e^{-\frac{h_c S}{C_h G}}$$

[1] Dá-se o nome de saturação livre à diferença entre a saturação total e a saturação de equilíbrio com o gás ambiente.

A quantidade do líquido evaporado na unidade de tempo, será também

$$\frac{dq}{dt} = G\left(s_f - s_o\right) \text{ [1] } \ldots\ldots$$

Se for M a massa do sólido seco e f_i a sua saturação livre inicial, a quantidade q' de água evaporada até atingir a saturação livre final f_f, será $q' = M(f_i - f_f)$; a duração t do período de secagem a velocidade constante será, portanto,

$$t = \frac{M(f_i - f_f)}{L(s_f - s_o)}$$

3) *Período de secagem a velocidade decrescente*

Neste caso, a quantidade de água evaporada na unidade de tempo é função de saturação livre, isto é

$$\frac{dq}{dt} = -\varphi(f)\, dS$$

Mas

$$dq = M\, df$$

Portanto,

$$\frac{df}{\varphi(f)} = -\frac{dS}{M}\, dt$$

Substituindo dS por S, vem

$$t = \frac{M}{S}\int_{f_f}^{f_i} \frac{df}{\varphi(f)}\,.$$

O cálculo do integral faz-se gràficamente conhecida a curva $\varphi(f)$.

Em geral, para não ter de determinar a

[1] Eliminando G entre as equações (1) e (2), obtém-se

$$\frac{dq}{dt} = \frac{Ph'_g S\,(s_f - s_o)}{\log \dfrac{s_h - s_o}{s_h - s_f}} = \frac{Ph'_g S\,[(s_h - s_o) - (s_h - s_f)]}{\log \dfrac{s_h - s_o}{s_h - s_f}} =$$

$$= Ph'_g S\,(\Delta H)_m\,,$$

representando por $(\Delta H)_m$ a média logarítmica de $(s_h - s_o)$ e $(s_h - s_f)$.

curva, admite-se que $\varphi(f)$ é linear em f, isto é, $\varphi(f) = m\,f$;
portanto,

$$\frac{dq}{dt} = m\,f\,S$$

Quando $f = f_c$, $\frac{dq}{dt}$ tem o valor $\left(\frac{dq}{dt}\right)_c$ correspondente ao período de secagem a velocidade constante, isto é,

$$\left(\frac{dq}{dt}\right)_c = G\,(s_f - s_o)\,;$$

logo,

$$m = \frac{G\,(s_f - s_o)}{S\,f_c}$$

Substituindo na expressão de t, vem

$$t = \frac{M\,f_c}{S\,G\,(s_f - s_o)} \int_{f_f}^{f_i} \frac{df}{f} =$$

$$= \frac{M\,f_c}{S\,G\,(s_f - s_o)} \log \frac{f_i}{f_f}$$

A temperatura obtida no fim do tempo t é dada pela expressão conhecida da evaporação contínua

$$\theta_f = \theta_h - (\theta_h - \theta_o)\,e^{-\frac{h''_c\,t}{C_h\,H\,\rho_g}}$$

4) *Secagem em contra-corrente*

I) *Período de secagem a velocidade constante*

Enquanto não se atinge a saturação livre crítica, a evaporação é independente da saturação do sólido e, portanto, todos os raciocínios anteriores se mantém. A única diferença consiste em se ter um caudal em massa D do sólido em vez de uma massa M determinada; nestas condições a relação anterior é substituída pela seguinte

$$D\,(f_i - f_f) = G\,(s_f - s_o)\,.$$

Esta expressão relaciona os caudais de sólido e do gás de secagem.

II) *Período de secagem a velocidade decrescente*

Neste caso há que fazer os cálculos para a superfície dS, tomando

$$\left(\frac{dq}{dt}\right)_c = Ph'_g\,(s_h - s)\,dS$$

Será portanto

$$m\,f_c\,dS = Ph'_g\,(s_h - s)\,dS\,,$$

ou

$$m = \frac{Ph'_g\,(s_h - s)}{f_c}$$

Logo

$$\varphi(f) = \frac{Ph'_g\,(s_h - s)\,f}{f_c}$$

Portanto

$$\frac{dq}{dt} = \frac{Ph'_g\,(s_h - s)\,f}{f_c}\,dS$$

Fazendo o raciocínio que se fez nos outros casos, tem-se

$$\frac{Ph'_g\,(s_h - s)\,f}{f_c}\,dS = G\,ds$$

Mas, como, vimos, em cada instante é

$$D\,(f_i - f) = G\,(s - s_o)$$

Portanto

$$f = f_i + \frac{G}{D}\,(s - s_o)$$

Substituindo, e separando as variáveis vem

$$\frac{ds}{(s_h - s)\left[f_i + \frac{G}{D}\,(s - s_o)\right]} = \frac{Ph'_g\,dS}{G\,f_c}$$

Fazendo

$$f_i - \frac{G}{D}\,s_o = A \quad e \quad \frac{G}{D} = B\,,$$

vem

$$\int_{s_o}^{s_f} \frac{ds}{(s_h - s)\,(A + Bs)} = \frac{P\,h'_g\,S}{G f_c}$$

ou

$$\frac{1}{Bs_h + A} \log \frac{(A + B\,s_f)\,(s_h - s_o)}{(A + B\,s_o)(s_h - s_f)} = \frac{P\,h'_h\,S}{G f_c}$$

III) *Secagem mista*

No caso de haver um período de velocidade constante e outro de velocidade decrescente, é necessário fazer os dois cálculos, o primeiro para $f_f = f_c$ e o segundo para $f_i = f_c$.

5) *Trocas caloríficas*

Os cálculos anteriores devem ser controlados verificando se as quantidades de calor cedida e recebida são iguais. Para estes cálculos podem utilizar-se os diagramas habituais.

6) *Dificuldades na obtenção de dados*

Os cálculos apresentados apresentam algumas dificuldades no que se refere aos valores dos coeficientes de transmissão, às humidades críticas e à curva φ (f).

Os coeficientes de transmissão podem calcular-se pelas expressões habituais; as humidades críticas encontram-se, por exemplo, em «Chemical Engineers' Handbook», de J. Perry (2.ª edição, pág. 1520)(1) e a curva φ (f) terá de ser determinada experimentalmente.

b) *Aparelhagem*

A aparelhagem utilizada depende das características das substância a secar, que podem ser fundamentalmente, de 5 categorias: Massas isoladas, materiais soltos ou granulares, folhas contínuas, pastas e materiais em solução.

1) *Massas isoladas*

Podem utilizar-se secadores de compartimentos em vários pisos (à pressão atmosférica ou em vazio) e de túnel.

2) *Materiais soltos ou granulares*

Secadores rotativos

3) *Materiais em folhas contínuas*

Secadores de cilindros.

(1) No quadro seguinte indicam-se alguns valores

Materiais	Espessura	fc
Areia a 50 malhas . . .	5 cm	5 %
Tejolos	6 cm	14 %
Azul da Prússia	—	40 %

4) *Pastas*

Secadores com agitação (à pressão atmosférica ou em vazio).

5) *Materiais em solução*

Secadores de tambor (à pressão atmosférica ou em vazio) ou secadores por pulverização (em ar ou vapor sobreaquecido).

Para descrição mais detalhada pode ver-se o livro «Elements of Chemical Engineering» de Badger e Mc Cabe, 2.ª edição, pág. 287 a 296; em particular para os secadores rotativos pode consultar-se o catálogo da «Allis-Chalmers» sobre fornos e secadores rotativos.

CAPITULO V

CONDENSAÇÃO DOS VAPORES FORMADOS

Os condensadores destinam-se a arrefecer os vapores a uma temperatura inferior à sua temperatura de condensação. O líquido formado tem de ser transportado em seguida por gravidade (condensadores barométricos) ou por bombas.

Os condensadores classificam-se em dois tipos: De superfície e de contacto, conforme o vapor a condensar e o líquido refrigerante estão separados por uma parede metálica ou se misturam directamente (ejectores).

A descrição dos diversos condensadores encontra-se nos vários livros sobre Tecnologia Química.

CAPITULO VI

REMOÇÃO DO LÍQUIDO RESULTANTE DA CONDENSAÇÃO DO VAPOR DE AQUECIMENTO

Pode fazer-se por bombas e purgadores. Os purgadores são dispositivos que permitem a descarga da parte condensada, evitando, porém, a saída do vapor. Os purgadores podem ser de vários tipos cuja descrição pode encontrar-se nos diferentes livros sobre o assunto.

BIBLIOTECA

REVISTAS

		C. D.
Aeroplane (The), n.os 1976 e 1977 e 1979 a 1984	Inglaterra	629.13
Aircraft Engineering, n.os 243 e 244	Inglaterra	629.13
Anais do Club Militar Naval, Maio-Junho, 1948	Portugal	623
Análise, n.º 18	Portugal	51/54
Arquitecto Constructor (El), n.º 684	Argentina	72
Arquitectura Portuguesa, n.º 153	Portugal	72
Boletim Mensal de Estatística, n.º 1, 1949	Angola	31
Brotéria, Fasc. 6, 1949	Portugal	1:2:3:7:8
Bulletin des Etudes Portugaises et de L'Institut Français au Portugal, tomo XII (1948)	Portugal	1:2:3:7:8
Bulletin du Congrés des Chemins de Fer, n.º 6, 1949	Bélgica	385
Chronique des Mines Coloniales (La), n.º 154	França	622
Ciencia y Tecnica, n.º 563	Argentina	62/69
Civitas, n.os I, II, III, IX (1948)	Portugal	083
Dyna, n.º 5, 1949	Espanha	62/69
Electrical Communication, n.º 1, 1949	E. U. A.	621.39
Engineering, n.os 4343-4350	Inglaterra	62
Excavating Engineer, Maio, 1949	E. U. A.	624.152
Gazeta dos Caminhos de Ferro, n.º 1476	Portugal	385
Indústria Portuguesa, n.º 254	Portugal	62/69
Informaciones Iram, n.os 11-12, 1948 e 1-2, 1949	Argentina	389.6
Ossature Metalique, n.º 6, 1949	Bélgica	624.014
Plastics Bulletin, n.º 42	E. U. A.	679.5
Revista de Caminos, n.os 11-12, 1948	Chile	625
Revista das Obras Públicas, n.º 2810	Espanha	624.628
Rivista del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali, n.º 2, 1948	Itália	624/627
Seara Nova, n.os 1115-1117	Portugal	3:7:81(07)

FICHEIRO

Sob esta rubrica, figuram só as fichas dos artigos que nos mereceram maior atenção e estão contidos nas revistas recebidas nesta Biblioteca.

Higiene industrial

C. D. 613.646

O trabalho e a humidade — *Ferreira de Mira.*

Indústria Portuguesa, 14-949, vol. 22, n.º 254, págs. 195/196.

Vibrações

C. D. 534.62

Los problemas de vibraciones en la Ingenieria — *Victor de Buen.*

Dyna, 5-1949, vol. 24, n.º 5, págs. 153/162.

Electricidade Industrial

C. D. 621.3(46)

Apunte sobre el futuro electrico español — *Martinez Gattaneo.*

Revista das Obras Públicas, 6-1949, vol. 37, n.º 2810, págs. 282/285.

Estradas

C. D. 625.85

Carpeta de rodado con alquitrán o tratamento superficial betuminoso.

Revista de Caminos, 11-12-1948, n.os 11-12, págs. 197/198.

Química Industrial

C. D. 669.1

Fundición continua de acero semiterminado — *J. Negri.*

Ciencia y Tecnica, 5-1949, vol. 112, n.º 563, págs. 280/293.

Plásticos

C. D. 679.5:621.3

Electrical properties of plastics.

Electrical Communication, 3-1949, vol. 26, n.º 1.

Luminotecnia

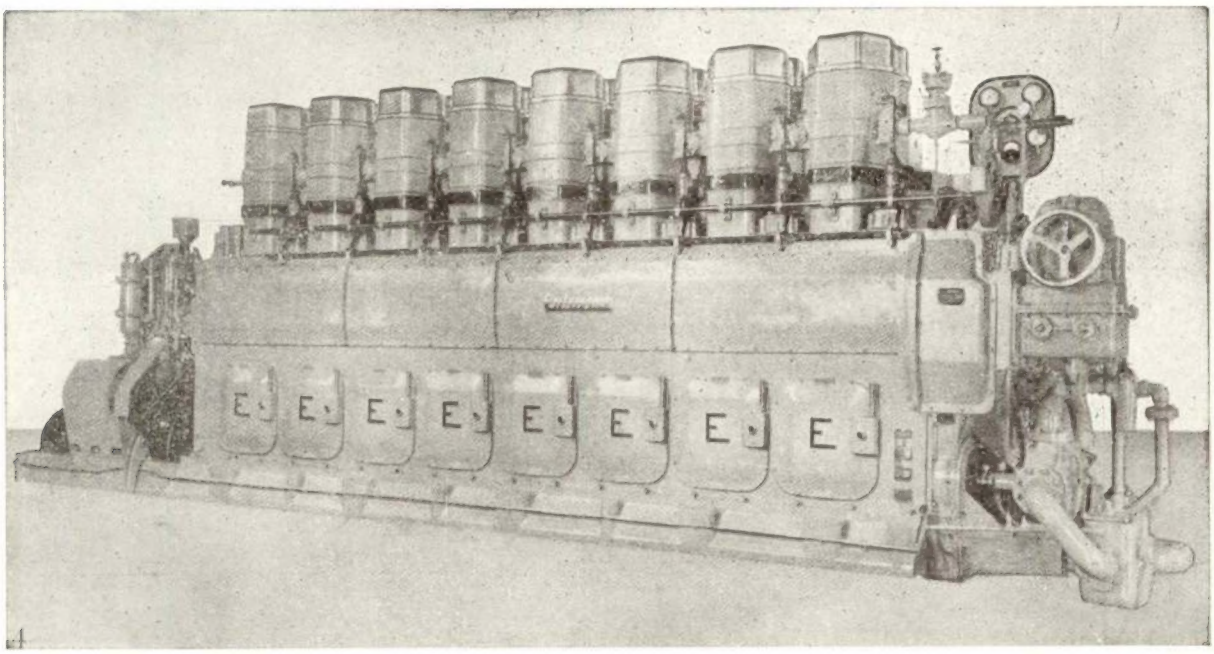
C. D. 621.327.7

Una innovación del alumbrado fluorescente.

Revista Electrotecnica, 4-1949, vol. 35, n.º 4, pág. 197.

ENTERPRISE

ENGINE & FOUNDRY COMPANY — U. S. A.



MOTORES DIESEL MARÍTIMOS — MOTORES DIESEL ESTACIONÁRIOS

GRUPOS DIESEL-GERADOR

45 a 2100 HP — **200 a 850 RPM** — **3 a 8 cilindros**

- Bloco de cilindros fundido numa só peça.
- Base fundida numa só peça.
- Camisas em contacto directo com a água.
- Cabeças de cilindro individuais.
- Cambota em aço forjado.
- Tirantes em aço forjado, Tipo marítimo.
- Bombas de injecção individuais.
- Válvulas em aço « SILICHROME »
- Lubrificação forçada.
- Balanceiros com sistema hidráulico para eleminação de folga.
- Válvula de arranque em todos os cilindros.
- Com ou sem sobre-alimentação.

CONSTRUÇÃO ROBUSTA — SERVIÇO CONTÍNUO — ECONOMIA

REPRESENTANTES:

• TERMO-MECANICA •

LIMITADA

AVENIDA ALMIRANTE REIS, 247, 1.º — **LISBOA**

Transmissão de energia eléctrica

C. D. 621.315.53

Camisas de aluminio para condutores eléctricos — *E. Británica.*

Revista Electrotecnica, 4-1949, vol. 35, n.º 4, págs. 188/190.

C. D. 621.315.61

Ensaios acelerados de envejecimiento térmico realizados con isolaciones a base de «Silicone» — *G. Lee Moses.*

Revista Electrotecnica, 4-1949, vol. 35, n.º 1, págs. 191/195.

C. D. 621 315.62

Contaminación en la superficie de los isoladores — *H. Frey.*

Dyna, 5-1949, vol. 24, n.º 5, pág. 168.

Ensino

C. D. 378(73)

Enseñanza de ingenieria en los EE. UU. — *S. Gerzonowicz.*

Revista Electrotecnica, 4-1944, vol. 35, n.º 4, págs 181/187.

Distribuição de energia eléctrica

C. D. 621 316.268.3

Los puestos de transformación de muy alta tensión — *M. Devauchelle.*

Revista Electrotécnica, 4-1949, vol. 35, n.º 4, págs. 165/180.

C D. 621 311.93

Coordinación y protección de la instalación de centrales electricas contra descargas atmosfericas — *P. Bellaschi.*

Revista Electroténica, 4-1949, vol. 35. n.º 4, págs. 151/164.

Tracção eléctrica

C. D. 621.33

État actuel de l'electrification des chemins de fer dans le monde.

Bulletin du Congrès de Chemins de Fer, 4-6-1949, vol. 26, n.ºs 4-6, págs. 573/577.

Aquecimento

C. D. 697

Note sur le chauffage par rayonnement — *M. Leufant.*

Bulletin dn Congrès des Chemins de Fer, 6-1949, vol. 26, n.º 6, págs. 513/571.

Indústria da madeira

C. D. 621.364.15 : 674

El calentamiento dieléctrico, herramienta de las fabricaciones de maderas — *Kinn & Kirbey.*

Dyna, 5-1949, vol. 24, n.º 5, págs. 163/167.

Aeronáutica

C. D. 629.13 (81)

Aircraft design in Brazil — *W. Green.*

The Aeroplane, 3-6-941, vol. 76, n.º 1982, págs. 634/635.

C. D. 629.13.621.39

Air navigation and traffic control.

Electrical Communication, 3-1949, voi. 26, n.º 1.

C. D. 629.13

A rotor-station in being.

The Aeroplane, 3-6-949, vol. 76, n.º 1982, págs. 636/637.

Resistência de materiais

C. D. 620.173.2

La conception nouvelle de la sécurité dans les problémes de flambement des prèces comprimées en acier doux — *J. Dutheil.*

Ossature Metallique, 6-1949, vol. 14, n.º 6, págs. 308 318.

Fundição

C. D. 621.745 : 621.791

Blindage des hauts fourneaux en tóle soudée — *A. Nicaise.*

Ossature Metallique, 6-1949, vol. 14, n.º 6, págs. 299/304.

Construção civil

C. D. 624.05

Un edificio y un método de calculo — *Garcia Ortega y Angel del Campo.*

Revista das Obras Publicas, 6-1949, vol. 97, n.º 2810, págs. 245/247.

Laminagem

C. D. 621.771.2

Profilage à froid.

Ossature Metallique, 6-1949, vol. 14, n.º 6, págs. 282/288.

Betão

C. D. 666.9

Resistência a las heladas del hormigón con aire encorporado.

La Ingenieria, 11-12-1948, vol. 52, n.º 888, págs. 536/540.

Fábrica Nacional de Condutores Eléctricos, L.da

VENDA NOVA — AMADORA

●

CONDUTORES ELÉCTRICOS

C E L

Fabricados pela indústria nacional segundo as Normas de segurança das instalações de Baixa Tensão

●

CONCESSIONÁRIOS GERAIS:

SODIL — Sociedade Distribuidora, L.da

R. NOVA DA TRINDADE, 15-C

L I S B O A